

Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Ocelové schodiště s vyhlídkou

Steel Stairway with View Platform

Student:

Bc. Lubomír Piter

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2012

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30. listopadu 2012

.....
podpis studenta

Poděkování

Děkuji touto cestou vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavovi Rosmanitovi, Ph.D. za poskytnutou pomoc a cenné rady při tvorbě mé diplomové práce.

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomové práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že VŠB-TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3 zákona č. 121/2000 Sb.)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouva s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1987 Sb., O vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30. listopadu 2012

.....

podpis studenta

Anotace diplomové práce

Název tématu: Ocelové schodiště s vyhlídkou

Autor: Bc. Lubomír Píter

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Počet stran: 125

Fakulta stavební, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Katedra konstrukcí

Cílem diplomové práce je návrh a statické posouzení ocelového schodiště s vyhlídkou kolem zděného pylonu u areálu hvězdárny a planetária Johana Palisy v Ostravě. V rámci práce byly zpracovány varianty rozhledny, statický posudek rozhodujících nosných částí zvolené varianty, posouzení vybraných přípojí, technickou zprávu, stručný postup montáže a výkresovou dokumentaci. Zvolená varianta se inspiroje tvarem zděného pylonu a tvoří ji dvouřadí sloupů, uspořádaných do šestiúhelníku, které společně s rozpěrami a táhly tvoří příhradovou konstrukci. Mezi tímto dvouřadím sloupů prochází dvě větve schodiště. Vyhlídka je umístěna ve výšce 39,9 m. Zastřešení je navrženo pomocí kulového vrchlíku a nad něj vystupuje stožár do výšky 51,1 m. Pro případy špatného počasí je navrženo prosklení prostoru schodiště a vyhlídky. Pro statické výpočty byl použit program Scia Engineer.

The Annotation of the Diploma's Thesis

The aim of this thesis is the design and assessment of static steel staircase with a observation tower around a brick pylon near the observatory and planetarium "Johan Palisa" in Ostrava. In this work were prepared variants of the tower, static assessment of critical supporting parts of selected variants, the assessment of selected connections, technical report, a brief construction procedure and design documentation. The selected variant is inspired by the shape of a brick pylon and consists of double row of columns, arranged in a hexagon, which together with the spacers and rods form a lattice structure. Two "branches" of the staircases goes through between these columns. The observation tower is located at a height 39.9 m. Roofing is designed by using a spherical "cap" and above it stands a mast up to height 51.1 m.. Glazing area of staircase and of observation tower is designed in cases of bad weather. Program Scia Engineer was used for static calculations.

Obsah diplomové práce:

Seznam zkratek a symbolů	8
1. Úvod.....	9
2. Umístění a stávající stav oblasti.....	10
2.1. Poloha areálu	10
2.2. Stručný popis stávajícího areálu	10
2.3. Požadavky investora	11
3. Variantní řešení schodiště a vyhlídkové plošiny	12
3.1. Účel a podmínky výstavby rozhleden	12
3.2. Konstrukce schodiště – IPE profily	12
3.3. Konstrukce schodiště – trubky	13
3.4. Zastřešení plošiny – stanové.....	14
3.5. Zastřešení plošiny – kopule	14
3.6. Výsledný návrh.....	15
4. Předběžné posouzení konstrukce	16
4.1. Nosná konstrukce	16
4.2. Ztužující prvky – táhlo RD 80.....	20
5. Architektonické řešení zvolené varianty.....	21
6. Průvodní zpráva	23
6.1. Identifikace stavby.....	23
6.2. Základní údaje o investorovi	23
6.3. Základní informace o zpracovateli dokumentace/projektu	23
6.4. Základní charakteristika stavby a její účel	24
6.5. Údaje o majetkových vztazích a dosavadním využití pozemku.....	24
6.6. Napojení na dopravní infrastrukturu	24
6.7. Statistické údaje.....	25
7. Technická zpráva	26

7.1.	Popis navrženého konstrukčního systému	26
7.2.	Základy	26
7.3.	Hlavní nosná konstrukce	26
7.4.	Střecha	27
7.5.	Schodiště a zábradlí	27
7.6.	Opláštění	29
7.7.	Přípoje	29
7.8.	Zázemí	29
7.9.	Úpravy povrchů a barevné řešení	30
7.10.	Technické vybavení	30
7.11.	Kontrola a prohlídky	30
8.	Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce	31
8.1.	Zatížení konstrukce	31
8.1.1.	Zatížení stálé	31
8.1.2.	Zatížení proměnné	32
8.2.	Zatěžovací stavy	40
8.3.	Kombinace zatěžovacích stavů	41
8.4.	Maximální celkový vodorovný posun konstrukce	42
8.5.	Model konstrukce	42
8.6.	Návrh jednotlivých prvků konstrukce	43
8.6.1.	Posudek nosníku stropní vyhlídky	43
8.7.	Shrnutí navržených profilů	79
9.	Návrh a posouzení vybraných spojů	80
9.1.	Přípoj průvlaku a stropnice na sloup	80
9.1.1.	Posouzení přípoje průvlaku	80
9.1.2.	Posouzení přípoje stropnice	83
9.2.	Přípoj průvlaků ve středu plošiny a stožáru	86
9.2.1.	Posouzení přípoje průvlaků ve středu vyhlídky	86

9.2.2.	Posouzení přípoje stožáru k vyhlídce	89
9.3.	Přípoj stropnice k průvlaku	90
9.4.	Přípoj podpěry schodiště, vzpěry mezi sloupy a táhla ke sloupu	93
9.4.1.	Posouzení přípoje podpěry schodiště	93
9.4.2.	Posouzení přípoje rozpěry mezi sloupy	97
9.4.3.	Posouzení přípoje táhla	99
9.5.	Přípoj schodnice na podpěru	101
9.6.	Patka sloupu	104
9.7.	Přípoj skořepiny ke sloupu	106
9.8.	Přípoj skořepiny ke stožáru	109
9.9.	Montážní spoj skořepiny	112
9.10.	Montážní spoj sloupů	112
9.11.	Přípoj průvlaku k vnitřnímu sloupu	115
10.	Předběžný návrh souvisejících konstrukcí	117
10.1.	Kotvení sloupů do základů	117
10.2.	Základová konstrukce	119
10.2.1.	Pilotový základ vnějších sloupů	119
10.2.2.	Pilotový základ vnitřních sloupů	120
11.	Základní postup montáže navržené konstrukce	121
12.	Závěr	125
13.	Seznam použité literatury	126
14.	Seznam obrázků	128
15.	Seznam tabulek	130
16.	Seznam výkresů	131
17.	Seznam příloh	132

Seznam zkratek a symbolů

ČSN – česká státní norma

EN – evropská norma

SO – stavební objekt

PD – projektová dokumentace

ŽP – životní prostředí

EIA – posuzování vlivu na životní prostředí

VŠB – vysoká škola báňská

TU – technická univerzita

OSS – orgány státní správy

GIS – geografický informační systém

MSÚ – mezní stav únosnosti

MSP – mezní stav použitelnosti

PUR – polyuretan

1. Úvod

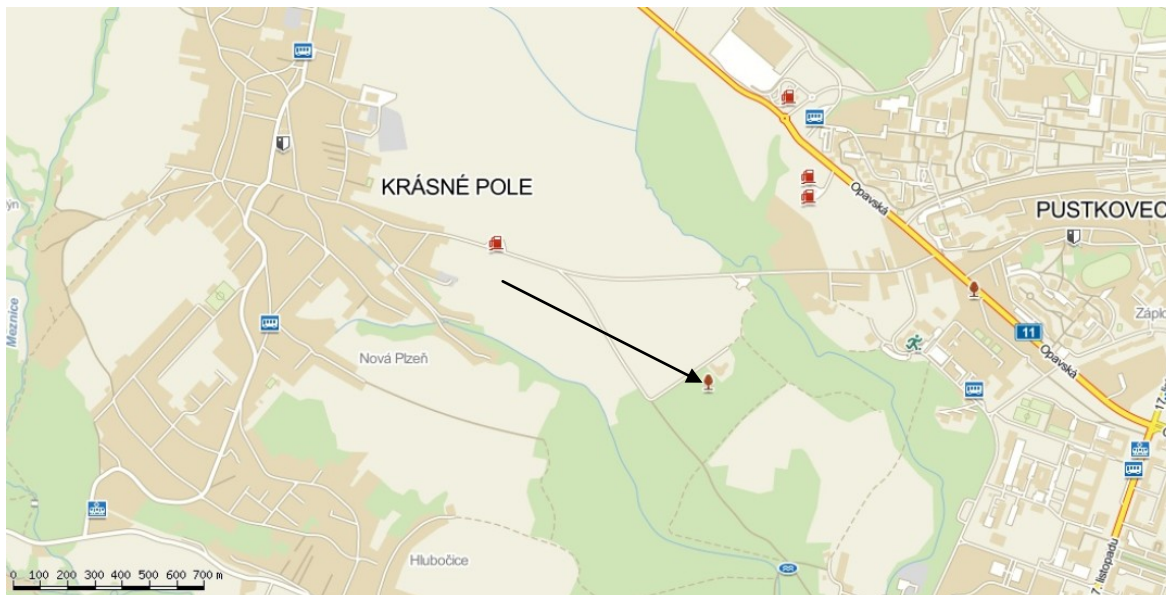
Téma této diplomové práce vzniklo na žádost vedoucího hvězdárny a planetária Johana Palisy v Ostravě, který chce vytvořit v blízkosti planetária dominantu, na kterou by se lidé z okolí mohli přijet podívat a prohlédnout si blízké okolí. V dnešní době v tomto místě stojí zděný, nepříliš atraktivní, pylon, který sice je vysoký 35 m, ale momentálně slouží pouze pro měření geografických informací. Proto se rozhodli vybudovat v tomto místě rozhlednu, která bude mít uvnitř stávající pylon a nesmí se ho dotknout z důvodu měření. Toto místo není sice nejvyšší v okolí, ale společně s planetáři a s možností procházek po stezkách v přilehlém lese, je vhodnou kombinací pro prožití příjemného dne příchozích návštěvníků.

V rámci práce jsem řešil několik variant vzhledu a provedení rozhledny. Inspirací pro ně byl zejména tvar zděného pylonu. Tyto návrhy byly poté předloženy vedoucímu planetária. Ten společně s kolegy vybral jeden konkrétní návrh, který jsem zpracoval podrobněji. Provedl jsem architektonický návrh konstrukce, návrh a statické posouzení hlavních nosných konstrukcí včetně přípojů jednotlivých prvků, technickou zprávu, stručný postup montáže a výkresovou dokumentaci.

Výsledný návrh lze charakterizovat jako prostorovou příhradovou konstrukci. Hlavním nosným prvkem jsou dvě řady sloupů, které jsou uspořádány do pravidelného šestiúhelníku. Vnější řada sloupů přenáší zatížení zejména od střechy, částečně od vyhlídky a schodiště. Vnitřní sloupy přenášejí zatížení od vyhlídky a schodiště. Rozhledna je vysoká 51,1 m a vyhlídka je ve výšce 39,9 m. Plocha vyhlídky je 116 m².

2. Umístění a stávající stav oblasti

2.1. Poloha areálu



Obr. 2.1: Mapa umístění pozemku

Areál se nachází v blízkosti hvězdárny a planetária J. Palisy v Ostravě – Pustkovci. Areál je přístupný pomocí chodníku. V blízkosti se nachází ulice K Planetáriu. Areál je přístupný přímo z městských částí Krásné pole a Pustkovec. Část pozemku, který bude potřeba k vybudování, je majetkem VŠB – TU Ostrava.

2.2. Stručný popis stávajícího areálu

Hlavním prvkem na pozemku je zděný pylon, kolem kterého má být navržena ta rozhledna. Majetkem VŠB – TU Ostrava je pouze pozemek pod pylonem. V okolí pozemku je lesní porost a několik chodníků pro veřejnost.



Obr. 2.2: Pohled na pozemek

2.3. Požadavky investora

Investorem je VŠB – TU Ostrava v zastoupení RNDr. Tomášem Gráfem, Ph.D. vedoucím planetária. Hlavním požadavkem bylo vytvořit schodiště s vyhlídkou okolo stávající budovy nacházející se v blízkosti planetária. Protože na stávající budově probíhá měření GIS pracovníky a je na ní umístěno zařízení pro měření ve vrchní části, požaduje investor, aby se konstrukce schodiště stávající budovy nedotýkala, byl zajištěn dostatečný odstup a nedošlo tak k zásahu do měřicího zařízení. Dále nesmí konstrukce v místě měřicího zařízení bránit výhledu tohoto zařízení ve směru, kterým vysílá potřebné údaje.

Vzhledem k plánům provozovat tuto rozhlednu i v zimních měsících je nutno navrhnout prostor schodiště a vyhlídky jako uzavřený. Dále je požadavek na vrcholu rozhledny umístit anténní stožár pro případné poskytnutí telekomunikačním společností a u vstupu na schodiště vybudovat prostory pro zázemí s možností prodeje.

3. Variantní řešení schodiště a vyhlídkové plošiny

3.1. Účel a podmínky výstavby rozhleden

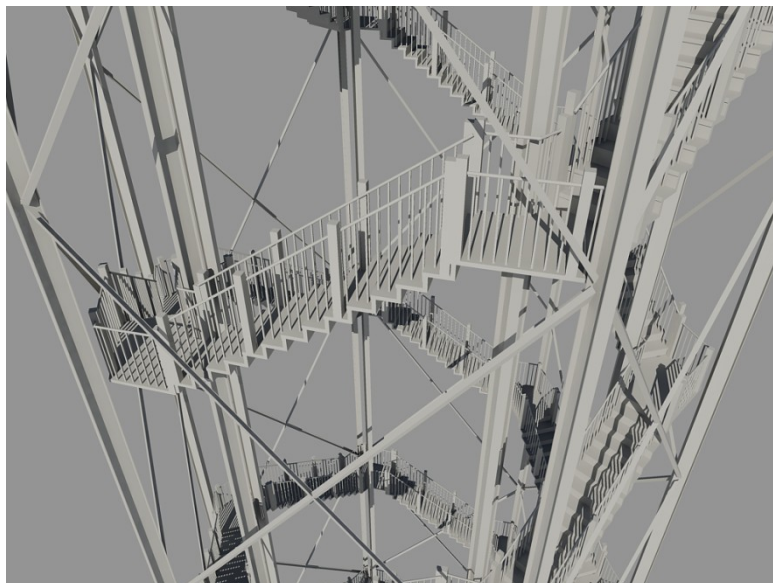
Hlavním posláním rozhledem je umožnit člověku rozhled do krajiny. Ten by měl být atraktivní, pokud možno na všechny světové strany a nejlépe do několika desítek či stovek kilometrů. Hlavní důraz při řešení rozhledny je kladen na výhled, tomu by nemělo nic bránit. Při návrhu může dojít k omezení výhledu zejména špatným umístěním rozhledny nebo vzrostlým porostem, který po nějaké době brání výhledu. Použití materiálu je závislé na množství peněz, které je možno použít na výstavbu, na požadavcích investora či stavitele a také na konceptu celé stavby.

Rozhledny lze rozdělit dle typu konstrukce takto:

- Železobetonové konstrukce
- Zděné konstrukce
- Ocelové konstrukce
- Dřevěné konstrukce
- Objekty s vyhlídkou

3.2. Konstrukce schodiště – IPE profily

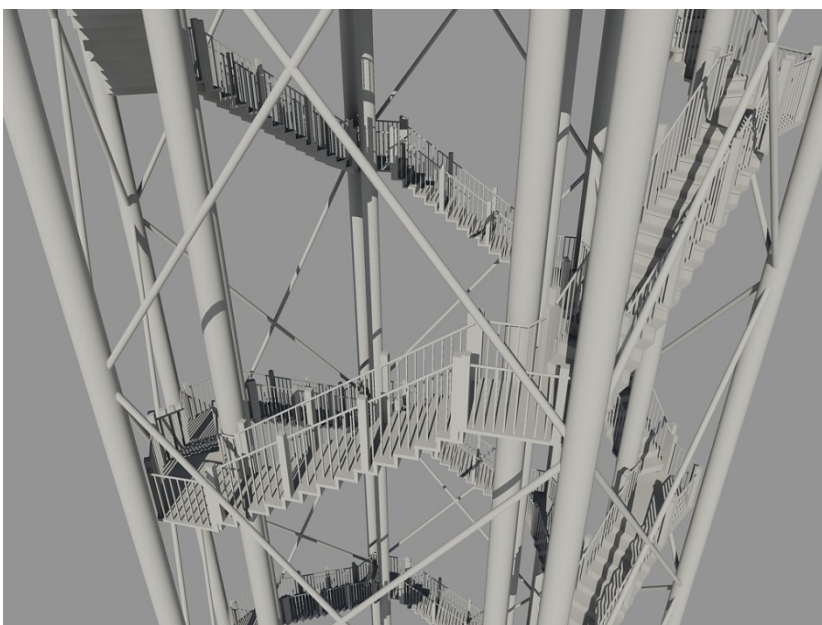
U této varianty jsou použity, jako hlavní nosná konstrukce, dvě řady sloupů uspořádané jako pravidelný šestiúhelník. Sloupy jsou vytvořeny z profilů IPE. Tyto profily nám na konstrukci vytvářejí industriální vzhled.



Obr. 3.1: Detail sloupů z IPE profilů

3.3. Konstrukce schodiště – trubky

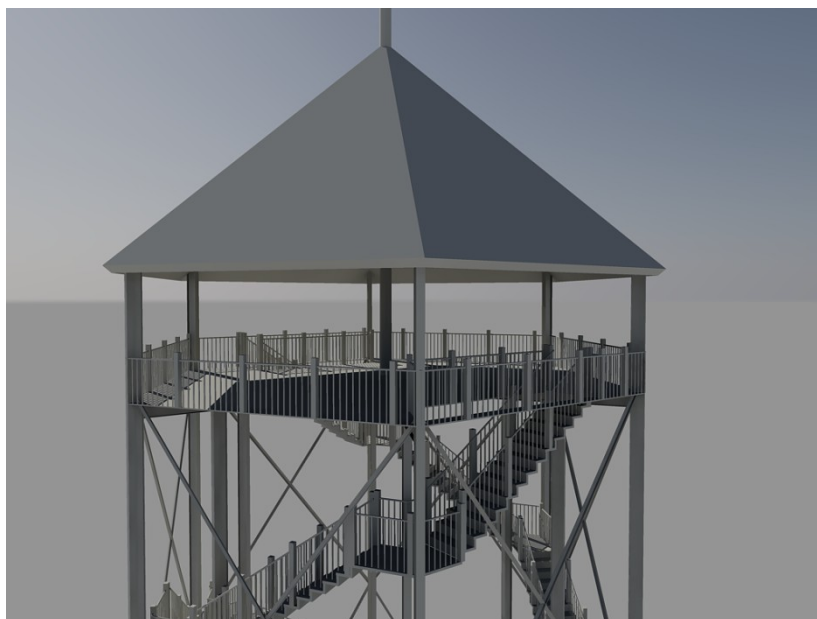
U této varianty je uspořádání sloupů stejné jako u předchozí varianty. Rozdíl je pouze v použitém materiálu na sloup. Zde jsou uvažovány jako sloupy kruhové trubky.



Obr. 3.2: Detail sloupů z kruhových trubek

3.4. Zastřešení plošiny – stanové

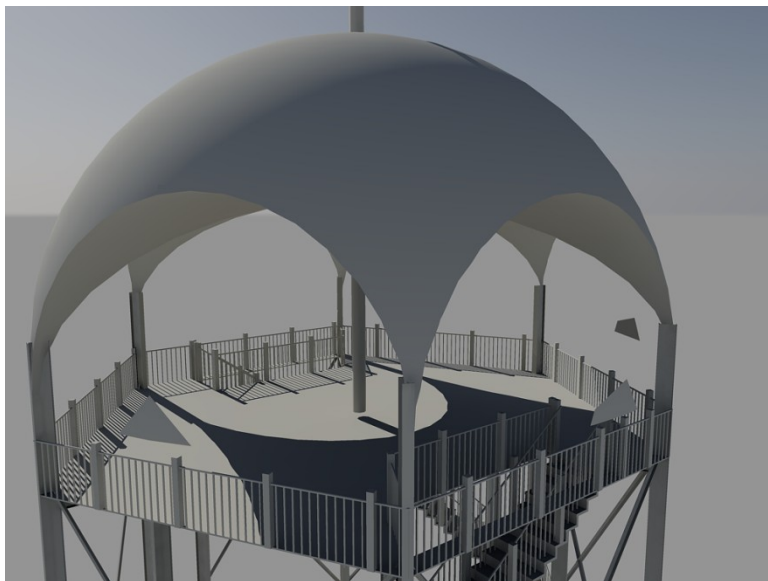
V této variantě uvažuji zastřešení vyhlídky pomocí stanové střechy. Střecha je ve sklonu 45° . Nosná konstrukce bude vytvořena z šesti hlavních nosníků, které se sbíhají ve špičce. Ty budou spojeny dvěma vedlejšíma nosníky. Pro snížení účinků zatížení do sloupu, bude provedeno propojení sloupů v místě uložení střešní konstrukce za pomoci ocelových táhel. Z toho důvodu musí být sloupy nad vyhlídkou až do výše 2,5 m. K ocelovým nosníkům budou připevněny dřevěné trámký a na ně dřevěné bednění. Krytina bude provedena z ocelového plechu.



Obr. 3.3: Stanová střecha

3.5. Zastřešení plošiny – kopule

V tomto případě je zastřešení vyhlídky řešeno pomocí kulového vrchlíku, který má výřezy mezi jednotlivými sloupy. Konstrukce bude navržena jako skořepina z hrubého plechu. Pro lepší přenos zatížení budou provedeny výztuhy. Střecha se skládá ze tří částí. Rozdělení uvažuji z důvodu montáže a středového stožáru. Jednotlivé části budou mít v místě spojení výztuhu na obou částech a spojení bude provedeno pomocí šroubů. Vzhledem k provedenému výřezu mezi sloupy může být vrchlík připojen ke sloupům ve výšce 1,5 m.



Obr. 3.4: Zastřešení kulovým vrchlíkem

3.6. Výsledný návrh

Jednotlivé návrhy byly předloženy investorovi. Ten provedl konzultaci se svými kolegy a společně se shodli, že pro ně bude nejpříjemnější varianta, kdy jako nosný systém budou použity ocelové trubky a zastřešení bude provedeno kulovým vrchlíkem. Dále jsme se dohodli na provedení prosklení prostoru schodiště a vyhlídky.

4. Předběžné posouzení konstrukce

4.1. Nosná konstrukce

Předběžný návrh hlavního stropního nosníku – IPE 400

Zjednodušeně uvažuji jako prostý nosník o velikosti rovné vzdálenosti vnitřních sloupů. Zatížení, které uvažujeme je vlastní tíha, tíha podlahy a užité zatížení, které na vyhlídku bude působit. Jako zatěžovací šířku uvažuji poloviční vzdálenost sloupů A a B to je 3,8 m.

Zatížení	g_k	γ	g_d
Vlastní tíha IPE 400 (66,3 kg/m)	0,663 kN/m	1,35	0,895 kN/m
Podlaha (fošny tl. 40 mm, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$), zat. šířka 3,8 m			
$3,8 \cdot 5 \cdot 0,04 = 0,2$	0,76 kN/m	1,35	1,026 kN/m
Užité zatížení, kategorie C5			
$5 \cdot 0,3 \cdot 8 = 19$	19,0 kN/m	1,5	28,50 kN/m
Zatížení celkem:	20,423 kN/m		30,421 kN/m

Maximální ohybový moment:

$$M_{max} = \frac{1}{8} \cdot g \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 30,421 \cdot 8,8^2 = 294,475 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu IPE 400:

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{235000 \cdot 1307,00 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 307,145 \text{ kNm}$$

307,145 > 294,475 kNm – Vyhovuje

Předběžný návrh vedlejšího stropního nosníku – IPE 180

Působí jako prostý nosník. Zatěžovací šířka je vzdálenost mezi jednotlivými nosníky, tj. 1416 mm. Nejdelší nosník je 5065 mm.

Zatížení	g_k	γ	g_d
Vlastní tíha IPE 180 (18,8 kg/m)	0,188 kN/m	1,35	0,254 kN/m
Podlaha (fošny tl. 40 mm, $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$), zat. šířka 3,8 m			
$1,416 \cdot 5 \cdot 0,04 = 0,2$	0,354 kN/m	1,35	0,478 kN/m
Užité zatížení, kategorie C5			

	<u>5,0.1,416 = 7,08</u>	<u>7,08 kN/m</u>	<u>1,5</u>	<u>10,62 kN/m</u>
Zatížení celkem:		7,622 kN/m		11,352 kN/m

Maximální ohybový moment:

$$M_{max} = \frac{1}{8} \cdot g \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 11,352 \cdot 5,065^2 = 36,403 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu IPE 180:

$$M_{pl,Rd} = \frac{f_y \cdot W_{pl}}{\gamma_{M0}} = \frac{235000 \cdot 166,4 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 39,104 \text{ kNm}$$

39,104 > 36,403 kNm – Vyhovuje

Předběžný návrh sloupu – CHS 168,3x8

Zjednodušeně uvažuji jen osovou sílu od zatížení z vyhlídky konstrukce, orientačně od střechy a od schodišťové konstrukce.

Zatížení

Maximální síla ze stropního nosníku:

$$N_{str} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 11,352 \cdot 5,065 = 28,75 \text{ kN}$$

Síla od střechy:

	g_k	γ	g_s
Vlastní tíha plech 20 mm (7850 kg/m ³)			
78,50.0,02	1,57	1,35	2,12 kN/m ²
Zatížení sněhem 0,84	0,84	1,5	1,26 kN/m ²
Zatížení větrem 0,5.1,343	0,672	1,5	1,01 kN/m ²
Zatížení celkem:	3,082 kN/m ²		4,39 kN/m ²

- Sloup přenáší 17 % celkového zatížení ze střechy

$$N_s = g_s \cdot A_s \cdot 0,17 = 4,39 \cdot 141,03 \cdot 0,17 = 105,25 \text{ kN}$$

Síla od schodiště:

	g_k	γ	g_s
Tíha schodnice U 240 (24 kg/m)	0,24	1,35	0,324 kN/m
Schodišťové stupně odhad 0,45.0,55	0,248	1,35	0,334 kN/m

Prosklení odhad 3kg/m ²	0,03.3,05	0,09	1,35	0,122 kN/m
Zatížení užité (zat. šířka 0,55 m)	3,0.0,55	1,65	1,5	2,48 kN/m
Zatížení větrem	2,5.1,343.0,5	0,839	1,5	1,26 kN/m
Zatížení celkem:		3,067 kN/m		4,52 kN/m

Do sloupu je přenášeno zatížení z poloviny ramene a z obou stran. Zatěžovací šířka je tedy 6,3 m. Na sloup je schodiště připojeno v 5 místech.

$$N_{sch} = 4,52 \cdot 6,3 = 28,476 \text{ kN}$$

Celková síla působící do sloupu:

$$N_{max} = N_{str} + N_s + 5 \cdot N_{sch} = 28,75 + 105,25 + 5 \cdot 28,476 = 276,38 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu CHS 168,3x8:

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 235000}{1,0} = 326,65 \text{ kN}$$

947,05 > 273,75 kN – Vyhovuje

Vzpěrná únosnost prvku – pro předběžný návrh uvažuji třídu průřezu 1

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Kritická síla:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2100000000 \cdot 1,297 \cdot 10^{-5}}{8^2} = 420,03 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost prvku:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 235000}{420,03}} = 1,502$$

- Křivka vzpěrné pevnosti c: $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5[1 + 0,49(1,502 - 0,2) + 1,502^2] = 1,946$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,946 + \sqrt{1,946^2 - 1,502^2}} = 0,314$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,314 \cdot 4,03 \cdot 10^{-3} \cdot 235000}{1,0} = 297,374 \text{ kN}$$

297,374 > 273,75 kN – Vyhovuje

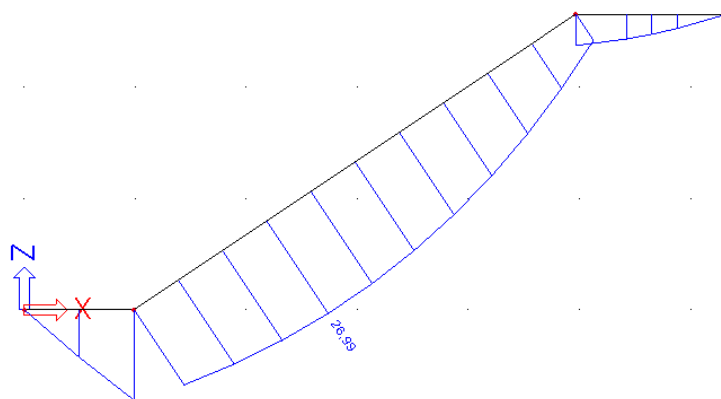
Předběžný návrh schodnice schodiště – UE 240

Schodnice přenáší zatížení užité, tíhu schodišťových stupňů, tíhu prosklení a zatížení od větru, které působí na schodiště. Pro předběžný návrh uvažuji schodnici jako lomený nosník na obou stranách vetknutý. Výpočet vnitřních sil proveden v programu Scia Engineer. Vlastní tíha schodnice uvažována programem.

Zatížení

		g_k	γ	g_s
Schodišťové stupně odhad	0,45.0,55	0,248	1,35	0,334 kN/m
Prosklení odhad 3kg/m ²	0,03.3,05	0,09	1,35	0,122 kN/m
Zatížení užité (zat. šířka 0,55 m)	3,0.0,55	1,65	1,5	2,48 kN/m
Zatížení větrem	2,5.1,343.0,5	0,839	1,5	1,26 kN/m
Zatížení celkem:		2,997 kN/m		4,426 kN/m

Maximální ohybový moment:



Obr. 4.1: Průběh ohybových momentů na schodnici, Scia Engineer

$$M_{\max} = 26,99 \text{ kNm}$$

Únosnost průřezu UPE 240:

$$M_{Ed} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,78 \cdot 10^{-4} \cdot 235000}{1,0} = 65,33 \text{ kNm}$$

65,33 > 26,99 kNm - Vyhovuje

4.2. Ztužující prvky – táhlo RD 80

Jako ztužující prvky, zajišťující stabilitu konstrukce, budou použita táhla z plné oceli. Táhla musí přenášet vítr, který působí na celou konstrukci. Nejhorší možný způsob zatížení je kolmo na jeden sloup a zatížení přenáší pouze jedno táhlo.

Výška konstrukce $h = 48,1 \text{ m}$

Šířka konstrukce $b = 11,6 \text{ m}$

Plnost konstrukce (odhad) $\varphi = 75 \%$

Zatížení větrem:

$$q_{pd}(z) = 1,343 \cdot 1,5 = 2,02 \text{ kN/m}^2$$

Maximální síla na 1 táhlo:

$$N_{max} = q_{pd}(z) \cdot h \cdot b \cdot \varphi = 2,02 \cdot 48,1 \cdot 11,6 \cdot 0,75 = 845,31 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu RD 40:

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,04^2 \cdot 3,14 \cdot 235000}{1,0} = 1180,64 \text{ kN}$$

1180,64 > 845,31 kN - Vyhovuje

5. Architektonické řešení zvolené varianty

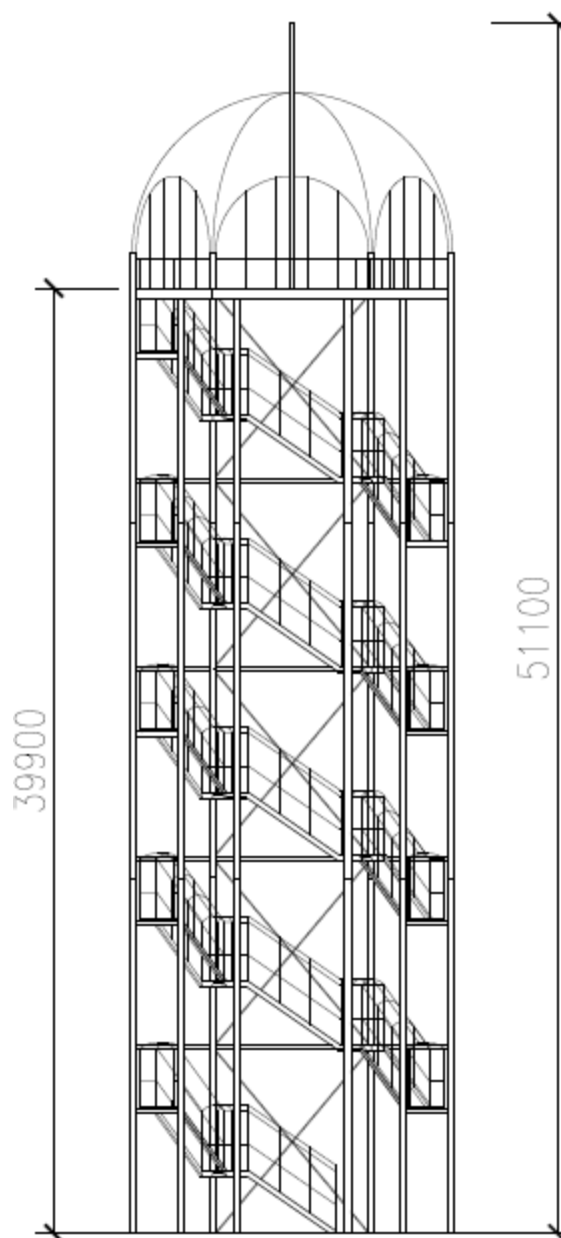
Výsledný návrh konstrukce se odvíjí zejména od tvaru stávající konstrukce. Ta má tvar šestiúhelníku zakončený kulovým vrchlíkem. Proto i výsledný návrh tyto proporce zachovává.

Hlavní nosná konstrukce se skládá ze dvou řad kruhových sloupů, které jsou umístěny ve tvaru pravidelného šestiúhelníku. Ve třech vnějších stranách je provedeno ztužení celé konstrukce za pomoci táhel. Vždy dvojice sloupů je v několika místech spojena příčlím, která podpírá schodiště. To je u této konstrukce navrženo ve tvaru dvou šroubovic. Jedna šroubovice pro směr nahoru a druhá pro směr dolů. Ramena schodiště jsou přímá a tvoří je dvě schodnice, mezi které jsou vloženy schodišťové stupně. Ty tvoří ocelový rám s vloženým dřevěným stupněm pro snížení hlučnosti při výstupu na rozhlednu. Mezi jednotlivými rameny jsou umístěny podesty pro odpočinek při výstupu. Podesta je také tvořena ocelovým rámem, na kterém jsou připevněny dřevěné fošny.

Hlavní částí rozhledny je vyhlídka. Ta je tvořena roštēm z ocelových nosníků, které jsou spojeny kloubově. Přes ně je poté vytvořena podlaha z dřevěných fošen. Pro zabránění pádu do schodiště, dále na celém schodišti a okolo vyhlídky je provedeno lehké zábradlí z ocelových trubek, které splňuje veškeré požadavky na výšku zábradlí a vzdálenosti svislého členění výplně. Do výhledu nám na vyhlídce zasahuje pouze šest sloupů, které nijak výrazně rozhled do okolí neovlivní.

Zastřešení vyhlídky je řešeno pomocí kulového vrhlíku. Ten bude vyroben z ocelového plechu vyztužen pomocí pásků. Díky tomuto systému působí vyhlídka prostorně. Uprostřed vyhlídky bude umístěn stožár, který bude ukotven do stropní konstrukce vyhlídky a bude procházet 3m nad střechem. Ten by měl sloužit pro umístění případných telekomunikačních zařízení.

Vzhledem k tomu, že má být rozhledna užívána i za špatného počasí a v zimních měsících, bude prostor schodiště a vyhlídky prosklený. Na schodišti to bude řešeno pomocí rámu z ocelových profilů, které budou ztuženy zavětrováním pomocí ocelových táhel. Stříška schodiště je řešena jako oblouková, aby byl zajištěn odtok vody z konstrukce. Prosklení vyhlídky řešeno pomocí ocelových rámu, které se přišroubují ke sloupům a podlaze vyhlídky. Pro případ nočních výstupů na rozhlednu bude v prostorách schodiště a vyhlídky osazeno osvětlení.



Obr. 5.1: Schematický řez rozhlednou

6. Průvodní zpráva

6.1. Identifikace stavby

Název stavby: Ocelové schodiště s vyhlídkou

Druh stavby: ocelová konstrukce

Účel stavby: vyhlídková věž

Místo stavby: Ostrava

6.2. Základní údaje o investorovi

Jméno investora: Hvězdárna a planetárium Johana Palisy

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Sídlo investora: 17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava – Poruba

IČ: 61989100

Kontaktní osoba: RNDr. Tomáš Gráf, Ph.D.

Telefon: 596 994 951

E-mail: tomas.graf@vsb.cz

6.3. Základní informace o zpracovateli dokumentace/projektu

Jméno a příjmení: Bc. Lubomír Piter

Adresa: Reymontova 564/10, 72000 Ostrava – Hrabová

Telefon: 737 063 954

Zaměstnání: Student

6.4. Základní charakteristika stavby a její účel

Stavba je řešena jako ocelová konstrukce, která bude lidem umožňovat rozhled do okolí.

6.5. Údaje o majetkových vztazích a dosavadním využití pozemku

Majetkové vztahy:

č. parcely:	výměra (m ²):	druh pozemku:	vlastník:	adresa vlastníka:
2337	519	ostatní plocha	VŠB – TU Ostrava	17. listopadu 15/2172, 708 33 Ostrava- Poruba
2343	41	lesní pozemek	Galus Ladislav Galusová Marie	Družební 6/175, 725 26 Ostrava – Krásné Pole
2342/2	701	lesní pozemek	Galus Ladislav Galusová Marie	Družební 6/175, 725 26 Ostrava – Krásné Pole
2330/2	3490	lesní pozemek	Galus Ladislav Galusová Marie	Družební 6/175, 725 26 Ostrava – Krásné Pole

Tabulka 6.1: Majetkové vztahy

Dosavadní využití:

Parcela, která je majetkem VŠB – TU Ostrava slouží jako přístupový chodník ke zděnému pylonu a je vedena v katastru nemovitostí jako ostatní plochy. Bude nutné zažádat o změnu na zastavěnou plochu.

Další parcely jsou vedeny v katastru nemovitostí jako lesní pozemky. U těchto bude taktéž nutno zažádat o změnu na zastavěnou plochu.

6.6. Napojení na dopravní infrastrukturu

V okolí stavby se nachází pouze jedna komunikace. Jmenuje se K Planetáriu. Vzhledem k tomu, že se stavba leží 30 m od této komunikace, bude řešena doprava materiálu na stavbu pomocí zpevněných chodníků. Ty v dnešní době zajišťují přístup ke

zděnému pylonu. Rozhledna bude napojena pouze na elektrickou energii. To bude řešeno připojením na stávající rozvod elektrické energie zděného pylonu.

6.7. Statistické údaje

Plocha vyhlídkové plošiny:	116,6 m ²
Plocha řešeného území:	270 m ²
Plocha stavebního pozemku:	116,6 m ²
Zastavěná plocha:	59,21 m ²
Obestavěný prostor:	3014 m ³
Hmotnost navržené konstrukce:	147 000 kg

7. Technická zpráva

7.1. Popis navrženého konstrukčního systému

Rozhledna je vysoká 51,1 m, základna je ve tvaru šestiúhelníku o průměru 13,4 m. Výhledová plošina je ve výšce +29,9 m nad terénem. Nosná ocelová konstrukce je příhradová. Celková váha konstrukce je 147 000 kg. Konstrukce je navržena z oceli S235J0 a šrouby jsou použity o pevnosti 8.8. Hlavním nosným systémem jsou dvě řady sloupů, které jsou zakončeny vyhlídkovou plošinou. Ta se skládá z nosných průvlaků kloubově uložených na vnějších sloupech a podepřených vnitřními sloupy. Dále z příčných stropnic kloubově uložených na průvlaky. Vnější sloupy vystupují nad vyhlídkovou plošinu a nesou střešní konstrukci, která je tvořena ocelovým plechem ve tvaru kulového vrchlíku. Mezi sloupy prochází dvě šroubovice schodiště. To je podpíráno příčlemi mezi sloupy, které jsou kloubově uchyceny. Ztužení konstrukce je zajištěno pomocí rozpěr mezi sloupy a táhel.

7.2. Základy

Návrh základů je v této práci řešen pouze předběžným návrhem. Vzhledem k stávající stavbě pylonu je navržen základ pomocí vrtaných pilot. Piloty a základové prvky budou vytvořeny z betonu třídy C16/20. Vnější sloupy budou na pilotách průměru 800 mm a hloubce založení 7 m. Vnitřní sloupy budou na pilotách o průměru 700 mm a hloubce založení 5 m. Ukotvení sloupů je řešeno pomocí táhel z kotevní hlavou zabetonovaných do piloty. Na každý sloup jsou navrženy 4 kotevní šrouby M30 s hloubkou zabetonování 500 mm. Pod nosníkem schodiště bude proveden betonový pás. Konstrukce zázemí bude uložena na betonových patkách pod jednotlivými prvky.

7.3. Hlavní nosná konstrukce

Konstrukce je navržena jako prostorová příhradová konstrukce. Hlavní nosnými prvky jsou sloupy, které jsou uspořádány ve dvou řadách ve tvaru šestiúhelníku. Osová vzdálenost vnějších sloupů je 13,4 m a vnitřních 9,4 m. Vnější sloupy jsou navrženy z kruhových profilů CHS 273x20 a budou po výšce odstupňovány v tloušťce stěny sloupu.

Vnitřní sloupy jsou navrženy z kruhových profilů CHS 194x16 a budou po výšce odstupňovány v tloušťce stěny sloupu. Sloupy jsou spojeny v místě uložení schodiště pomocí příčných výztuh. Výztuhy jsou k sloupům připojeny kloubově a jsou z kruhových profilů CHS 194x12,5. Výztuhy jsou vzájemně vzdáleny 7,98 m a od terénu je první výztuha vzdálena dle umístění v konstrukci a to 2,66 m, 5,32 m a 7,98 m. Ztužení sloupů je zajištěno pomocí vodorovných výztuh, které jsou z kruhových profilů CHS 168x12,5. Vodorovné výztuhy vnějších sloupů jsou ve výškách 7,86 m, 15,84 m, 23,82 m a 31,8 m. Vodorovné výztuhy vnitřních sloupů jsou ve výšce 7,86 m a 23,82 m. Stabilitu zajišťují táhla mezi vnějšími sloupy. Ty jsou umístěny ve třech stranách konstrukce a to tak, že je jedno pole volné a jedno má táhla. Táhla jsou na výšku 7,98 m. Jsou použity typizovaná táhla Macalloy M42 a jejich spojovací části a prvky. Vnitřní sloupy jsou zakončeny ve výšce +39,9 m nad terénem vyhlídkovou plošinou. Ta je tvořena z průvlaků a stropnic. Průvlaky jsou z válcovaných profilů IPE 450. Jsou kloubově uloženy na vnější sloupy a podepřeny vnitřními sloupy. Stropnice jsou navrženy z několika profilů dle umístění v konstrukci a jsou kloubově uloženy na průvlaky. Okrajová stropnice je z válcovaného profilu UPN 240. Vnitřní stropnice jsou z válcovaných profilů IPE 200, IPE 160 a IPE 80. Podlaha vyhlídky je tvořena fošnami z rostlého dřeva pevnosti C30 a tl. 40 mm. Vnější sloupy vystupují nad vyhlídku do výšky +41,4 m nad terénem.

7.4. Střecha

Střešní konstrukce je tvořena kulovým vrchlíkem o poloměru 6,75 m, který je ořezán svislou rovinou v hranách šestiúhelníku. Tato skořepina je vytvořena z plechu tl. 3 mm a je uložena kloubově na sloupy a ve vrcholu ke stožáru. Konstrukce je rozdělena z důvodu montáže na tři části. Jsou navrženy výztuhy skořepiny z plechu 30x100 mm. V místě montážního spojení skořepiny je tato výztuha provedena z plechu 15x100 mm připojená ke každé části a provedeno montážní spojení za pomoci šroubů. V rámci střešní konstrukce prochází ve vrcholu stožár z kruhového profilu CHS 194x12,5. Stožár je kloubově uložen na vyhlídku plošiny a k střešní skořepině. Má celkovou délku 11,2 m.

7.5. Schodiště a zábradlí

Schodiště je řešeno pomocí dvou šroubovic, jedna je pro výstup nahoru a druhá pro sestup dolů. Schodiště se skládá z typických částí mezi sloupy a prvním nástupním

ramenem. Typická část, která se opakuje na celé konstrukci, je tvořena dvojicí schodnic z válcovaných profilů IPE 240 kloubově uložených na podpěru mezi sloupy. Mezi schodnice jsou navařeny válcované profily Le 40x40x5 a Lu 60x40x5, ke kterým je přichycen schodišťový stupeň. Ten je vytvořen fošnou z rostlého dřeva 40x285x1100 mm pevnostní třídy C30 a dále je zde svislá výplň fošnou z rostlého dřeva 20x150x1100 mm. Typické schodiště má dvě mezipodesty. Obě jsou vytvořeny ocelovým válcovaným profilem Le 40x40 a k němu přišroubovanou fošnou tl. 40 mm. Nástupní rameno schodiště je řešeno obdobně jako typické. Pouze má jen jednu mezipodestu a část schodnice, která začíná na terénu je upravena na ukotvení k základové konstrukci. Sklon schodiště je běžný 34,6°.

Parametry schodiště:

Průchodná šířka schodišťového ramene:	1200 mm
Výška schodišťového ramene:	2660 mm
Jedno rameno tvoří:	14 stupňů
Celková délka výstupní čáry:	3575 mm
Rozměry schodišťového stupně:	$b = 275 \text{ mm}$
	$h = 190 \text{ mm}$
Úhel schodišťového ramene:	$\alpha = 34,6^\circ$
Průchodná výška:	$H = 2500 \text{ mm}$

Zábradlí vyhlídky a schodiště je lehké, trubkové a splňuje veškeré bezpečnostní parametry. Na vyhlídce je zábradlí umístěno na okraji vyhlídky a na okrajích otvoru prostoru schodiště. Madlo schodiště a vyhlídky je navrženo jako dřevěné o průměru 50 mm ve výšce 1100 mm do výšky 30m. Poté je navýšeno na 1200 mm vzhledem k minimálním požadavkům na hloubku volného prostoru nad 30 dle ČSN 74 3305[9]. Výška je dána svislicí mezi horní hranou zábradlí a povrchem pochozí plochy. Na schodišti to je svislice mezi horní plochou zábradlí a spojnicí hran stupňů. Rozmezí mezi svislou výplní je maximálně 120 mm.

7.6. Opláštění

Vzhledem k požadavkům na zabezpečení ochrany proti povětrnostním vlivům je provedeno opláštění vyhlídky a schodišťového prostoru za pomoci skla tl. 11 mm. Na vyhlídce je navržena rámová konstrukce z válcovaných ocelových profilů RHS 80x40x5 pro uchycení skla, která je uchycena ke sloupům a vyhlídce. V místě spoje rámu a skořepiny bude provedeno pružná dilatace, aby nedocházelo k přenosu zatížení do skořepiny. Sklo bude k těmto ráům přichyceno pomocí lišt. Maximální vzdálenost mezi jednotlivými profily je 1240 mm. Na schodišti je uchycení skla řešeno pomocí rámu z válcovaných ocelových profilů RHS 80x40x5, které jsou kloubově uchyceny ke schodišti. Ztužení těchto rámu je zajištěno vodorovnými příčlemi v rozích prosklení a dále pomocí výplní schodišťového zábradlí. Střešní část schodišťového prosklení je řešena jako mírný oblouk s nadvýšením 245 mm. Sklo bude uchyceno ke konstrukci za pomoci lišt. Maximální vzdálenost mezi profily je 1340 mm.

7.7. Přípoje

Přípoje jednotlivých konstrukčních prvků jsou řešeny pomocí šroubů s šestihrannou hlavou z oceli pevnostní třídy 8.8. Jednostřížné spoje jsou doplněny o kalenou podložku pod hlavou a maticí. Veškeré konstrukční svary jsou provedeny v tloušťkách dle provedeného výpočtu.

7.8. Zázemí

V prostoru nástupu na rozhlednu bude vybudováno zázemí pro skladování materiálu, část pro prodej suvenýru a přístup na rozhlednu. Tato část byla v rámci práce řešena pouze ve vizualizaci předběžného návrhu. Pravděpodobně bude řešena pomocí ocelové konstrukce přichycené na vnější sloupy a opláštěná pomocí PUR panelů. Terén bude proveden jako zpevněný štěrk popř. základová deska.

7.9. Úpravy povrchů a barevné řešení

Povrchová ochrana ocelové konstrukce je řešena pro stupeň agresivity C3 (blízká městská zástavba) dle ČSN EN ISO 12944. Pro ochranu bude použito žárové zinkování dle ČSN EN ISO 1461. Jako ochrana fošen z rostlého dřeva bude použit 2x impregnace a lazurovací lak.

7.10. Technické vybavení

Rozhledna bude vybavena osvětlením schodiště a vyhlídkové plošiny. Dále bude zajištěno připojení na elektrickou energii zázemí rozhledny. Toto připojení bude napojeno na elektrickou síť stávající budovy. Rozhledna bude uzemněna.

7.11. Kontrola a prohlídky

Kontrola ocelové konstrukce a pravidelné prohlídky budou prováděny po 5 letech. Dále budou prováděny každých 10 let podrobné prohlídky. Ty budou obsahovat kontrolu změn na konstrukci v únosnosti a použitelnosti, kontrolu jednotlivých přípojů, vznik trhlin, jakost materiálu, dále posouzení projektové dokumentace se současným stavem a návrhy k odstranění závad.

8. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce

8.1. Zatížení konstrukce

Na konstrukci působí tyto druhy zatížení (dle [1]):

8.1.1. Zatížení stálé

Vlastní tíha ocelové konstrukce – vlastní tíhu ocelové konstrukce generuje software automaticky

Schodišťové stupně – ocelový rám a dřevěný nášlap (odhad) **0,45 kN/m²**

(ve výpočtovém modelu se toto zatížení uvažuje jako spojité zatížení na schodnici, schodiště je šířky 1,1 m, zatěžovací šířka schodnice je 0,55 m)

Přepočet na schodnici: $0,55 \cdot 0,45 = 0,248 \text{ kN/m}$ **0,248 kN/m**

Vlastní tíha nenosných prvků

Podlaha vyhlídky (fošny tl. 40mm): $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$

$5 \cdot 0,04 = 0,2 \text{ kN/m}^2$ **0,20 kN/m²**

Zábradlí vyhlídky a schodiště (odhad 30 kg/m):

..... **0,3 kN/m**

Prosklení vyhlídky a schodišťového prostoru (skleněné desky): uvažuji sklo tl. 11,5 mm, $\rho = 2,5 \text{ kg/m}^2/1\text{mm}$, zatížení na jednu schodnici, zatěžovací šířka je 3,05 m

$0,025 \cdot 11,5 = 0,2875$ **0,877 kN/m**

8.1.2. Zatížení proměnné

- Zatížení užité

Tato konstrukce spadá do užité kategorie C5 dle tab. 6.2 z [1] (plochy, kde může dojít k vysoké koncentraci lidí). V modelu uvažujeme rovnoměrné plošné zatížení vyhlídky.

$$\dots\dots\dots q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení schodiště - V modelu uvažujeme rovnoměrné plošné zatížení kategorie A - schodiště dle tab. 6.2 z [1], zatížení bude do modelu zadáno na schodnici, zatěžovací šířka je 0,55 m.

$$0,55 \cdot 3,0 = 1,65 \text{ kN/m} \dots\dots\dots q_k = 1,65 \text{ kN/m}$$

Zatížení na zábradlí – Na zábradlí, které se nachází na vyhlídce a patří do kategorie C5, budeme působit vodorovnou silou dle tab. 6.12 z [1]

$$\dots\dots\dots q_k = 5,0 \text{ kN/m}$$

Toto zatížení bude do modelu vneseno pomocí liniového ohybového momentu, který vznikne tímto zatížením na rameni výšky zábradlí, tj. 1100 mm.

$$\dots\dots\dots M_{lin} = 5,5 \text{ kNm/m}$$

- Na zábradlí, které se nachází v prostoru schodiště a patří do kategorie A, budeme působit vodorovnou silou dle tab. 6.12 z [1]

$$\dots\dots\dots q_k = 0,5 \text{ kN/m}$$

Toto zatížení bude do modelu vneseno pomocí liniového ohybového momentu, který vznikne tímto zatížením na rameni výšky zábradlí, tj. 1100 mm.

$$\dots\dots\dots M_{lin} = 0,55 \text{ kNm/m}$$

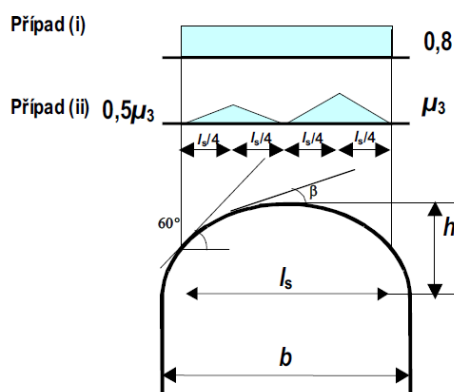
Zatížení na stožár – Odhad užitého zatížení pro stožár je 100 kg na metr stožáru

$$\dots\dots\dots q_k = 1,0 \text{ kN/m}$$

- **Zatížení sněhem** – uvažujeme dle [2]

Na střešní plochu uvažujeme dvě varianty působení sněhu – zatížení navátým sněhem a nenavátým sněhem. Ostrava spadá do sněhové oblasti č. II. Charakteristická hodnota zatížení střechy sněhem $S_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Na střechu působí zatížení sněhem svisle a je vztaženo na půdorys střechy.



Obr. 8.1: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro válcovou střechu

Tvarový součinitel střechy při nenavátém sněhu je $\mu_1 = 0,8$.

Tvarový součinitel střechy při navátém sněhu pro $\beta > 60^\circ$ je $\mu_3 = 0$, pro úhel $\beta < 60^\circ$ je $\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot h/b = 0,2 + 10 \cdot 6280/12560 = 5,2$ – doporučená hodnota dle [2] je $\mu_3 = 2,0$

Topografie: Otevřená krajina dle tab. 5.1 z [2].

Součinitel expozice $C_e = 0,8$.

Tepelný součinitel $C_t = 1,0$.

Zatížení sněhem při nenavátém sněhu:

$$s_{nn} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sněhem při navátém sněhu:

$$s_{nmax} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{n0,5} = 0,5 \cdot s_{nmax} = 1,6 \cdot 0,5 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení bude působit v oblasti o poloměru $r = 5,355 \text{ m}$ od středu střechy, kdy tato vzdálenost je oblast se sklonem střechy 60° .

- **Zatížení větrem** – uvažujeme dle [3]

Konstrukce je z části otevřená a z části uzavřená. Prostor vyhlídky a schodiště je uzavřen skleněným obkladem. Největší účinek větru je na střešní konstrukci a na skleněný obklad. Ostrava se nachází ve větrné oblasti č. II.

Základní rychlost větru: $V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

Referenční výšky: $h = 51,1 \text{ m} = z_i = z_e$

Součinitel drsnosti: Terén kategorie II. $\Rightarrow z_0 = 0,05$ dle tab .4.1 z [3]

$$z = z_e = z_i = 51,1 \text{ m} \geq z_{\min} = 4 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left[\frac{z_0}{z_{0,II}} \right]^{0,07} = 0,19 \cdot \left[\frac{0,05}{0,05} \right]^{0,07} = 0,19$$

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \cdot \ln \frac{51,1}{0,05} = 1,317$$

kde: k_r – součinitel terénu

$C_r(z)$ – součinitel drsnosti

z_0 – délka drsnosti

z_{\min} = minimální výška

Součinitel ortografie: $C_0(z) = 1,0$

Střední rychlost větru: $V_{m(z)} = C_{r(z)} \cdot C_{0(z)} \cdot V_b = 1,317 \cdot 1,0 \cdot 25 = 32,9 \text{ m/s}$

Charakteristický maximální dynamický tlak: $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_{v(z)}] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot V_m^2$

Intenzita turbulence: $I_{v(z)} = \frac{k_t}{C_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{51,1}{0,05}} = 0,144$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,144] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 32,9^2 = 1,361 \text{ kN/m}^2$$

kde: k_t – součinitel turbulence (běžně 1,0)

ρ – hustota vzduchu (1,25 kg/m³)

Výpočet součinitele konstrukce $c_s, c_d = 1,0$

Příhradová konstrukce

- do výšky 8 m

$$z = z_e = z_i = 8 \text{ m} \geq z_{\min} = 4 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left[\frac{z_0}{z_{0,II}} \right]^{0,07} = 0,19 \cdot \left[\frac{0,05}{0,05} \right]^{0,07} = 0,19$$

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \cdot \ln \frac{8}{0,05} = 0,964$$

$$V_{m(z)} = C_{r(z)} \cdot C_{0(z)} \cdot V_b = 0,964 \cdot 1,0 \cdot 25 = 24,1 \text{ m/s}$$

$$I_{v(z)} = \frac{k_t}{C_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln \frac{8}{0,05}} = 0,197$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_{v(z)}] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot V_m^2$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,197] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 24,1^2 = 0,864 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel plnosti konstrukce:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = \frac{58,75}{107,2} = 0,55$$

$$w_k = q_p(z) \cdot \varphi = 0,864 \cdot 0,55 = 0,475 \text{ kN/m}^2$$

Přepočet na trubkový sloup průměru 170 mm:

$$w_\phi = 0,17 \cdot q_p(z) = 0,17 \cdot 0,864 \cong 0,15 \text{ kN/m}$$

Tlak větru, který působí na příhradovou konstrukci v modelu, uvažuji jako bodovou sílu působící ve styčnku. Do styčnku působí síla z poloviny vrchní části a poloviny spodní části sloupu. Výsledná hodnota je upravena pomocí součinitele síly c_f pro působení větru kolmo ke dvojici sloupů a zvlášť kolmo na jeden sloup dle [3].

$$c_{f,II} = 1,62$$

$$c_{f,\perp} = 2,25$$

$$F_k = \left(\frac{1}{2} l_{sp} \cdot w_{\phi,sp} + \frac{1}{2} l_{hor} \cdot w_{\phi,hor} \right) \cdot c_f$$

z [m]	8	16	24	32	40	48,1	51,1
k_r	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
$c_r(z)$	0,964	1,096	1,173	1,228	1,270	1,305	1,317
$V_m(z)$ [m/s]	24,107	27,400	29,325	30,692	31,752	32,628	32,915
$I_v(z)$	0,197	0,173	0,162	0,155	0,150	0,146	0,144
$q_p(z)$ [kN/m ²]	0,864	1,039	1,147	1,227	1,290	1,343	1,361
φ	0,548	0,548	0,548	0,548	0,548		
w_k [kN/m ²]	0,474	0,569	0,629	0,672	0,707		
w_k - zvýšené [kN/m ²]	0,48	0,57	0,63	0,68	0,71		
w_ϕ [kN/m]	0,15	0,18	0,20	0,21	0,22		
F_{kII} [kN]	2,14	2,46	2,66	2,79	1,43		
F_{kL} [kN]	2,97	3,42	3,69	3,87	1,98		

Tabulka 8.1: Hodnoty tlaků větru na příhradovou konstrukci

Stěny prosklení

Na prosklení působí tlaky jak z návětrné strany, tak ze závětrné strany konstrukce. Součinitele vnějšího tlaku c_{pe} jsou odvozeny z tabulky 7.1. v [3]. Výsledný tlak na konstrukci poté určíme dle vzorce:

Výsledný tlak:

$$C_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$$

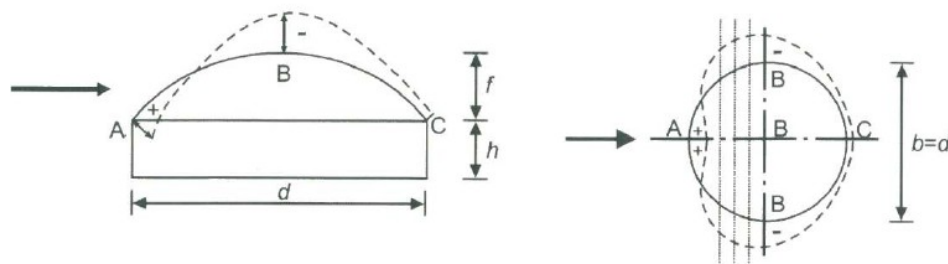
$$w_e = q_p(z) \cdot C_{p,net}$$

z [m]	8	16	24	32	40	48,1	51,1
$q_p(z)$ [kN/m ²]	0,864	1,039	1,147	1,227	1,290	1,343	1,361
c_{pi}	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
C_{pe10} - oblast D	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
$C_{p,net,D}$	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
závětrná strana [kN/m ²]	0,519	0,623	0,688	0,736	0,774	0,806	0,817
C_{pe10} - oblast E	-0,393	-0,510	-0,540	-0,569	-0,599	-0,629	-0,641
$C_{p,net,E}$	-0,593	-0,710	-0,740	-0,769	-0,799	-0,829	-0,841
návětrná strana [kN/m ²]	-0,512	-0,737	-0,848	-0,944	-1,031	-1,114	-1,144

Tabulka 8.2: Hodnoty tlaků větru na prosklení

Střecha

Maximální výška střechy je 48,1 m. Střecha vytváří kopuli. Vzhledem k složitosti průběhu zatížení na kopuli, je provedeno zjednodušené zadání a to zatížením spojitým na jednotlivé segmenty střechy.



Obr. 8.2: Průběh zatížení na kopuli

Vnější tlak

$$C_{pe,10 A} = 0,8$$

$$C_{pe,10 B} = -1,3$$

$$C_{pe,10 C} = -0,5$$

Vnitřní tlak

- vnitřní tlak – Není v normě pro kopuli přesně stanoven. Uvažujeme variantu, kdy konstrukce má funkční prosklení a vnitřní tlak na konstrukci je $c_{pi} = 0,2$ a dále situaci, kdy prosklení není a je možné střechu podfouknout. Proto tuto situaci použijí hodnoty jako pro přístřešek o sklonu 30° . Hodnotu pro oblast A uvažují na celé kopuli.

Stupeň plnosti uvažují pro konstrukce volně otevřené: $\varphi = 0$

Součinitel celkové síly: $c_f = 1,8$

Výsledný tlak:

$$C_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$$

$$w_e = q_p(z) \cdot C_{p,net}$$

oblast	A	B	C
$q_p(z)$ [kN/m ²]	1,343	1,343	1,343
$c_{pi,proskleny}$	0,2	0,2	0,2
$c_{pi,neproskleny}$	1,8	1,8	1,8
c_{pe}	0,5	-1,3	-0,5
$c_{p,net,proskleny}$	0,3	-1,5	-0,7
$c_{p,net,neproskleny}$	-1,3	-3,1	-2,3
$w_{e,proskleny}$	0,403	-2,015	-0,940
$w_{e,neproskleny}$	-1,746	-4,165	-3,090

Tabulka 8.3: Hodnoty tlaků větrem na střechu

Součinitel pro přepočet větru na šikmou stěnu

Úhel vychýlení stěny: $\alpha = 30^\circ$

Součinitel pro přepočet větru: $\phi = \cos 30^\circ = 0,866$

Podlaha vyhlídky

Tlak na podlahu vyhlídky působí opačně než na klasickou střechu. Uvažuji vyhlídku jako plochou střechu. Uvažuji jednu hodnotu vnějšího tlaku na celkovou plochu vyhlídky, $c_{pe} = 1,2$ a to hodnotu pro oblast G. Vnitřní tlak pro vyhlídku uvažuji, $c_{pi} = -0,2$.

$$w_{e,vyhlidka} = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) = 1,290 \cdot (1,2 + 0,2) = \mathbf{1,806 \text{ kN/m}^2}$$

Anténní stožár

Na stožáru budou umístěny antény do vzdálenosti max. 1 m od stožáru. Uvažujeme tedy zatěžovací šířku 1m. Základní zatížení větrem ve výšce 51,1 m přepočteme na běžný metr stožáru.

$$w_{ks} = q_p(z) \cdot \phi \cdot \phi_{st} = 1,361 \cdot 0,55 \cdot 1,0 = \mathbf{0,749 \text{ kN/m}}$$

Imperfekce z užitého zatížení

Imperfekce ve tvaru celkového počátečního naklonění konstrukce dle [5]. Do výpočtu uvažuji nahrazení pomocí sil, které působí do stropní konstrukce vyhlídky v místech sloupů.

$$\theta = \frac{l}{200} \text{ rad}$$

$$H_{\theta} = \frac{1}{200} \sum q_{k,vyhl} \cdot A_{vyhl} + q_{k,sch} \cdot A_{sch} = \frac{1}{200} \sum 5,0 \cdot 116,58 + 3,0 \cdot 188,9 = 5,748 \text{ kN}$$

Tato síla bude působit na sloupy: Rovnoběžně na 4 sloupy

$$H_{sl} = \frac{H_{\theta}}{4} = \frac{5,748}{4} = 1,437 \text{ kN}$$

Kolmo na 3 sloupy

$$H_{sl} = \frac{H_{\theta}}{3} = \frac{5,748}{3} = 1,916 \text{ kN}$$

Imperfekce pro zatížení sněhem

$$H_{\theta} = \frac{1}{200} \sum q_{sněhem} \cdot A_{střechy} = \frac{1}{200} \sum 0,64 \cdot 89,92 = 0,288 \text{ kN}$$

Tato síla bude působit na sloupy: Rovnoběžně na 4 sloupy

$$H_{sl} = \frac{H_{\theta}}{4} = \frac{0,288}{4} = 0,072 \text{ kN}$$

Kolmo na 3 sloupy

$$H_{sl} = \frac{H_{\theta}}{3} = \frac{0,288}{3} = 0,096 \text{ kN}$$

Imperfekce pro zatížení větrem

$$H_{\theta} = \frac{1}{200} \sum (q_{stř,max} - q_{vyhl}) \cdot A_{vyhl} \cdot \varphi = \frac{1}{200} \sum (4,165 - 1,806) \cdot 116,58 = 1,375 \text{ kN}$$

Tato síla bude působit na sloupy: Rovnoběžně na 4 sloupy

$$H_{sl} = \frac{H_{\theta}}{4} = \frac{1,375}{4} = 0,344 \text{ kN}$$

Kolmo na 3 sloupy

$$H_{sl} = \frac{H_{\theta}}{3} = \frac{1,375}{3} = 0,458 \text{ kN}$$

8.2. Zatěžovací stavy

Název		Skup.
LC1 <i>Stálé - 1</i>	Vlastní tíha	LG1
LC2 <i>Stálé - 2</i>	standard (tíha podlahy vyhlídky, kopule a stožár)	LG1
LC3 <i>Stálé - 3</i>	standard (stupně, prosklení, zábradlí na vyhlídce a schodišti)	LG1
LC4 <i>Proměnné - 1</i>	krátkodobé (vyhlídka 1)	LG2
LC5 <i>Proměnné - 2</i>	krátkodobé (vyhlídka 2)	LG2
LC6 <i>Proměnné - 3</i>	krátkodobé (vyhlídka 3)	LG2
LC7 <i>Proměnné - 4</i>	krátkodobé (imperfekce)	LG2
LC8 <i>Proměnné - 5</i>	krátkodobé (schodiště 1)	LG2
LC9 <i>Proměnné - 6</i>	krátkodobé (schodiště 2)	LG2
LC10 <i>Proměnné - 7</i>	krátkodobé (schodiště 3)	LG2
LC11 <i>Proměnné - 8</i>	krátkodobé (schodiště 4)	LG2
LC12 <i>Proměnné - 9</i>	krátkodobé (schodiště 5)	LG2
LC13 <i>Proměnné - 10</i>	krátkodobé (schodiště 6)	LG2
LC14 <i>Proměnné - 11</i>	krátkodobé (stožár)	LG2
Sníh -výběrová		
LC15 <i>Proměnné - 12</i>	krátkodobé (sníh-nenavátý)	LG3

LC16 <i>Proměnné – 13</i>	krátkodobé (sníh-navátý)	LG3
Vítr -výběrová		
LC17 <i>Proměnné – 14</i>	krátkodobé (vítr x)	LG4
LC17 <i>Proměnné – 15</i>	krátkodobé (vítr y)	LG4
LC18 <i>Proměnné – 16</i>	krátkodobé (vítr x – neprosklená)	LG4
LC19 <i>Proměnné – 17</i>	krátkodobé (vítr y - neprosklená)	LG4

8.3. Kombinace zatěžovacích stavů

Vzhledem ke složitosti namodelování veškerého zatížení do jednoho modelu, jsou vytvořeny modely dva. Základní předpoklady konstrukce a zatížení jsou u obou stejné. Liší se pouze zatížením větrem.

- Výpočtový model C01

Zatížení uvažované do kombinace: stálé + proměnné + sníh + vítr (působící kolmo na dvojici sloupů a prosklená vyhlídka)

- Výpočtový model C02

Zatížení uvažované do kombinace: stálé + proměnné + sníh + vítr (působící kolmo na jeden sloup a prosklená vyhlídka)

- Výpočtový model C03

Zatížení uvažované do kombinace: stálé + proměnné + sníh + vítr (působící kolmo na dvojici sloupů a uvažujeme situaci, kdy došlo k rozbití prosklení vyhlídky)

- Výpočtový model C04

Zatížení uvažované do kombinace: stálé + proměnné + sníh + vítr (působící kolmo na jeden sloup a uvažujeme situaci, kdy došlo k rozbití prosklení vyhlídky)

Vítr působí na konstrukci vždy pouze v jednom směru.

Označení kombinací ve výsledcích:

Např. C01/15 znamená, že se jedná o maximální vnitřní sílu z výpočtového modelu C01 a za lomítkem je číslo kombinace zatížení. To je určeno v programu SCIA Engineer v klíči kombinací zatížení.

8.4. Maximální celkový vodorovný posun konstrukce

Maximální posun (z programu SCIA Engineer):

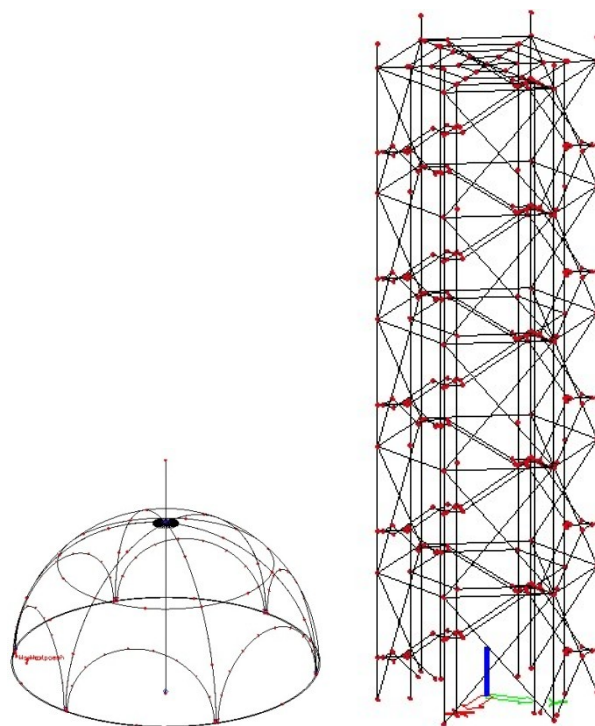
$$\delta_{max} = 102,2 \text{ mm}$$

Posudek:

$$\delta_{dov} = \frac{h}{400} = \frac{51,1}{400} = 0,128 \text{ m} = 128 \text{ mm}$$

102,2mm < 128 mm - Vyhovuje

8.5. Model konstrukce



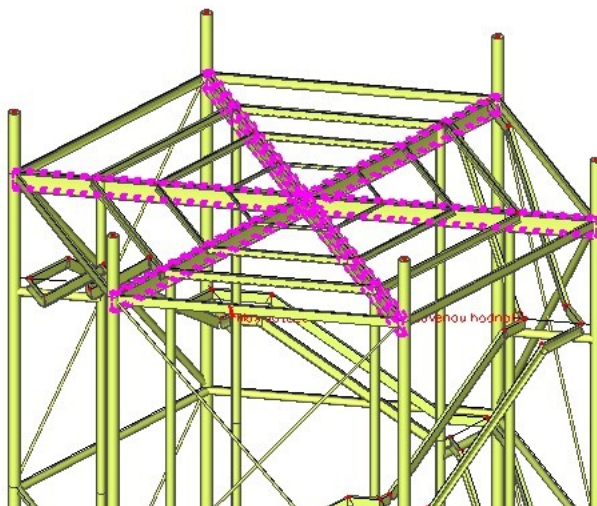
Tabulka 8.4: Výpočetní model konstrukce v programu SCIA Engineer

8.6. Návrh jednotlivých prvků konstrukce

8.6.1. Posudek nosníku stropní vyhlídky

Prvek STR1

Typ prvku: nosník vyhlídkové plošiny



Obr. 8.3: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - STR1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO2

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B146	CO2/1	0,000	-149,85	35,82	-109,49	-2,19	0,00	-18,06
B145	CO2/2	6,700	87,98	-1,83	44,41	-0,08	31,34	2,15
B1517	CO2/3	4,883	-42,94	-20,76	2,22	1,01	-3,65	-2,77
B146	CO2/4	0,000	-109,88	37,68	-106,25	-2,43	0,00	-17,87
B144	CO2/5	2,000	-90,52	1,34	-202,12	-0,18	-289,78	2,82
B144	CO2/6	2,000	-86,77	0,85	129,85	-0,14	-288,44	1,99
B146	CO2/7	0,000	-109,66	35,68	-111,93	-2,53	0,00	-18,07
B146	CO2/8	1,815	-77,68	0,28	-152,94	2,03	-217,24	4,03
B144	CO2/5	2,000	-89,93	1,09	128,72	-0,16	-289,91	2,06
B145	CO2/9	2,000	30,76	2,51	76,77	0,13	183,43	3,56
B145	CO2/10	0,000	-31,97	14,14	76,84	-1,23	0,00	-21,53
B146	CO2/11	1,631	-85,83	-0,70	-115,81	1,70	-181,94	10,61

Obr. 8.4: Hodnoty vnitřních sil z Scia Engineer – STR1

$$N_{Ed,max} = -149,85 \text{ kN}$$

kombinace CO2/1

$$V_{Ed,max} = -202,12 \text{ kN}$$

kombinace CO2/5

$$M_{y,Ed,max} = -289,91 \text{ kNm}$$

kombinace C02/5

$$M_{z,Ed,max} = -21,53 \text{ kNm}$$

kombinace C02/10

Navrhovaný průřez: **IPE 450**

Zatřídění průřezu:

Stojina:

$$\frac{c}{t} = \frac{378,8}{9,4} = 40,298 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Pásnice:

$$\frac{c}{t} = \frac{\frac{b}{2} - 2 \cdot r - t_w}{t_f} = \frac{190 - 2 \cdot 21 - 9,4}{14,6} = 2,986 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 9 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v pro válcované I průřezy zatížené rovnoběžně se stojinou se určí z výrazu:

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 8450 - 2 \cdot 190 \cdot 14,6 + (9,4 + 21) \cdot 14,6 \\ &= 5084 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{5,084 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 689,84 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{202,12}{689,84} = 0,293 \leq 1,0 - \textbf{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčníku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osových sil.

Posouzení ohybu a osově síly:

Pro výpočet použijí konzervativní lineární sumaci složek využití průřezu pro všechny složky výslednice napětí dle [5]. Pro tento průřez musí splňovat tuto podmínku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Ed} = 89,93 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 289,91 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,06 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,882 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 2322 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 352,5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,1764 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 41,454 \text{ kNm}$$

$$\frac{89,93}{2322} + \frac{289,91}{352,5} + \frac{2,06}{41,454} = 0,911 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO2- pou						
Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO2- pou/12	B146	3,268	-3,4	1/1999	6,8	1/1976
CO2- pou/12	B145	10,130	5,0	1/2690	-15,3	1/875
CO2- pou/13	B1518	3,428	3,5	1/1936	-0,7	1/10000
CO2- pou/14	B145	5,803	0,0	1/10000	-23,3	1/576
CO2- pou/15	B144	3,264	-2,1	1/3191	12,6	1/1064

Obr. 8.5: Hodnoty relativních deformací – STR1

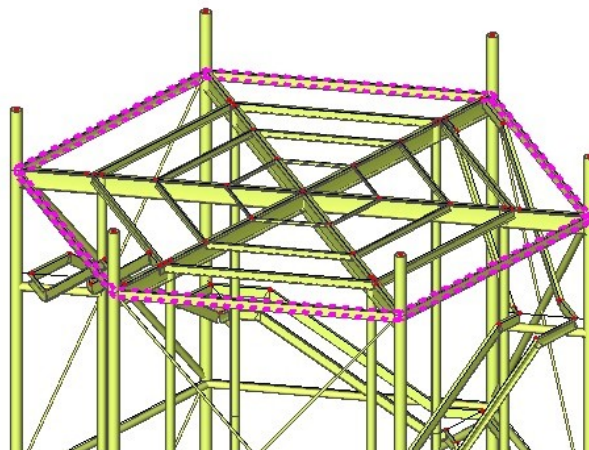
Výsledný průhyb: 23,3 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{9400}{400} = 23,5 \text{ mm} \geq 23,3 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek STR2

Typ prvku: nosník vyhlídkové plošiny



Obr. 8.6: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – STR2

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO2

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B147	CO2/13	0,000	-63,41	-0,13	-7,65	0,01	0,00	0,82
B148	CO2/14	0,000	150,64	0,09	-22,69	24,85	0,00	-0,38
B152	CO2/15	0,000	-44,12	-14,48	-2,83	-0,05	0,00	19,74
B152	CO2/16	6,700	-45,27	14,61	2,10	-0,05	0,00	20,18
B150	CO2/17	0,000	34,12	0,54	-22,70	24,90	0,00	-1,99
B150	CO2/18	6,700	92,50	0,57	22,70	-24,84	0,00	1,67
B148	CO2/19	6,700	82,39	-0,01	18,25	-27,65	0,00	-0,05
B147	CO2/20	0,000	85,99	-0,01	-19,14	27,66	0,00	0,12
B150	CO2/21	3,350	59,79	0,51	0,00	0,02	-44,22	-0,16
B147	CO2/22	6,700	-2,40	0,01	22,70	-24,84	0,00	0,27

Obr. 8.7: Hodnoty vnitřních sil z Scia Engineer – STR2

$$N_{Ed,max} = 150,64 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO2/14}$$

$$V_{Ed,max} = 22,70 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO2/18}$$

$$M_{y,Ed,max} = -44,22 \text{ kNm} \quad \text{kombinace CO2/21}$$

$$M_{z,Ed,max} = -20,18 \text{ kNm} \quad \text{kombinace CO2/16}$$

Navrhovaný průřez: **UPN 240**

Zatřídění průřezu:

Stojina:

$$\frac{c}{t} = \frac{184}{9,5} = 19,368 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Pásnice:

$$\frac{c}{t} = \frac{b-r-t_w}{t_f} = \frac{85-13-9,5}{13} = 4,808 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 9 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v pro válcované I průřezy zatížené rovnoběžně se stojinou se určí z výrazu:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f = 4230 - 2 \cdot 85 \cdot 13 + (9,5 + 13) \cdot 13 = 2312 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{2,312 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 313,75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{22,7}{313,75} = 0,072 \leq 1,0 - \textbf{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčníku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

Posouzení ohybu a osově síly:

Pro výpočet použijí konzervativní lineární sumaci složek využití průřezu pro všechny složky výslednice napětí dle [5]. Pro tento průřez musí splňovat tuto podmínku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Ed} = 59,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 44,22 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0,16 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,23 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 994,05 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 70,5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,0396 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 9,306 \text{ kNm}$$

$$\frac{59,79}{994,05} + \frac{44,22}{70,5} + \frac{0,16}{9,306} = 0,705 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO2- pou

Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO2- pou/23	B149	3,350	-33,5	1/200	2,2	1/3054
CO2- pou/24	B152	3,350	46,4	1/145	2,5	1/2638
CO2- pou/25	B148	0,000	0,0	0	0,0	0
CO2- pou/26	B150	3,350	1,4	1/4704	20,3	1/330

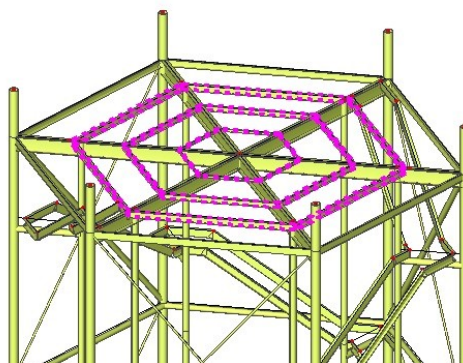
Obr. 8.8: Hodnoty relativních deformací – STR2

Výsledný průhyb: 20,3 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{6700}{400} = 26,8 \text{ mm} \geq 20,3 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek STR3, STR4, STR5



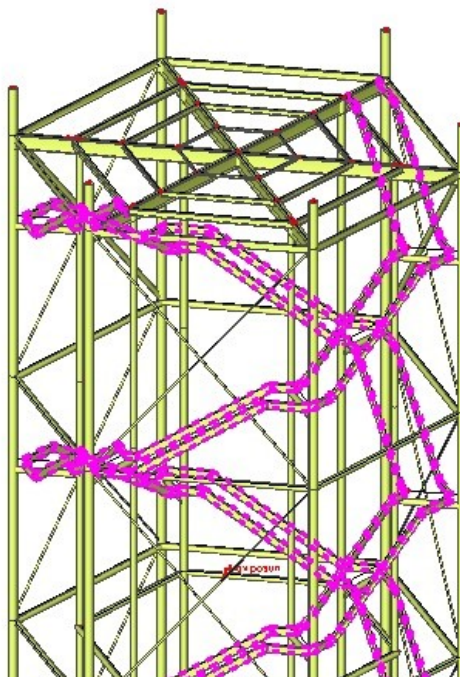
Obr. 8.9: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – STR3,4,5

Posudek prutů						
Prut	STR3		STR4		STR5	
Profil	IPE 200		IPE 160		IPE 80	
Ved	56,84	kN	64,51	kN	7,01	kN
Vpl,Rd	189,89	kN	131,01	kN	48,49	kN
Ned	22,58	kN	47,03	kN	20,1	kN
My,ed	39,55	kNm	16,65	kNm	3,71	kNm
Mz,ed	0,08	kNm	0,21	kNm	0	kNm
Nrd	669,28	kN	472,12	kN	179,54	kN
My,Rd	45,66	kNm	25,55	kNm	4,71	kNm
Mz,Rd	6,69	kNm	3,92	kNm	0,87	kNm
Posudek MSÚ - smyk:						
	0,30	≤ 1	Průřez vyhoví	0,49	≤ 1,00	Průřez vyhoví
	0,14	≤ 1,00	Průřez vyhoví	0,81	≤ 1,00	Průřez vyhoví
Posudek MSÚ - ohyb a osová síla:						
	0,91	≤ 1	Průřez vyhoví	0,81	≤ 1,00	Průřez vyhoví
	0,90	≤ 1,00	Průřez vyhoví	7,60	≤ 13,72	Průřez vyhoví
Posudek MSP [mm]:						
	16,20	≤ 20,26	Průřez vyhoví	5,60	≤ 7,18	Průřez vyhoví

Tabulka 8.5: Posudek nosníku vyhlídky

Prvek SCH1

Typ prvku: schodnice schodiště



Obr. 8.10: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – SCH1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO1								
Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B277	CO1/1	0,000	-59,95	1,43	-2,28	0,24	-7,19	-1,67
B214	CO1/2	4,788	30,47	5,06	-5,05	-1,80	15,88	2,55
B629	CO1/3	0,982	-6,12	-11,25	-10,54	0,31	0,00	-10,25
B630	CO1/3	0,000	-3,09	12,93	7,06	0,18	0,00	-14,57
B615	CO1/4	0,994	-40,10	-0,94	-31,63	-1,14	0,00	-3,86
B632	CO1/1	0,000	-18,61	-5,37	21,85	0,83	0,00	-0,40
B141	CO1/5	4,788	17,31	0,96	-6,22	-4,38	11,30	4,76
B277	CO1/6	4,788	-8,24	1,33	7,81	4,38	-6,74	5,80
B209	CO1/7	0,000	-45,52	6,47	-1,22	-1,79	-29,24	-3,16
B1412	CO1/4	4,788	-48,46	-1,20	0,58	-1,81	30,18	-2,20
B1423	CO1/3	2,873	-4,14	-1,29	-0,61	0,00	13,41	9,47

Obr. 8.11: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SCH1

$$N_{Ed,max} = -63,54 \text{ kN} \quad \text{kombinace C01/1}$$

$$V_{Ed,max} = -31,63 \text{ kN} \quad \text{kombinace C01/5}$$

$$M_{y,Ed,max} = 30,18 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C01/5}$$

$$M_{z,Ed,max} = -16,29 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C04/10}$$

Navrhovaný průřez: **UPE 240**

Zatřídění průřezu:

Stojina:

$$\frac{c}{t} = \frac{185}{7} = 26,43 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 - \text{Třída průřezu 1}$$

Pásnice:

$$\frac{c}{t} = \frac{b-r-t_w}{t_f} = \frac{90-15-7}{12,5} = 5,44 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 9 - \text{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v pro válcované I průřezy zatížené rovnoběžně se stojinou se určí z výrazu:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f = 3850 - 2 \cdot 90 \cdot 12,5 + (7 + 15) \cdot 12,5$$

$$= 1875 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{1,875 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 254,395 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{31,63}{254,395} = 0,124 \leq 1,0 \text{ - Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčnicku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osových sil.

Posouzení ohybu a osových sil:

Pro výpočet použiji konzervativní lineární sumaci složek využití průřezu pro všechny složky výslednice napětí dle [5]. Pro tento průřez musí splňovat tuto podmínku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Ed} = 48,46 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 30,18 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 2,20 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,85 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 904,75 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 70,5 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_z \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,0501 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 11,77 \text{ kNm}$$

$$\frac{48,46}{904,75} + \frac{30,18}{70,5} + \frac{2,20}{11,77} = 0,668 \leq 1,0 \text{ - Průřez vyhoví}$$

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO1-pou						
Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO1-pou/5	B1423	1,915	-24,0	1/199	-8,1	1/783
CO1-pou/2	B142	4,788	105,5	1/45	-9,4	1/507
CO1-pou/6	B621	0,000	-23,1	1/43	0,0	0
CO1-pou/7	B515	0,000	16,5	1/45	0,0	0
CO1-pou/3	B1524	4,788	95,3	1/50	-17,2	1/278
CO1-pou/4	B141	4,788	85,8	1/56	13,6	1/353

Obr. 8.12: Hodnoty relativních deformací – SCH1

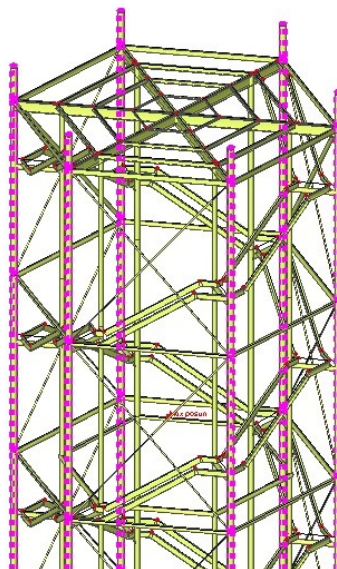
Výsledný průhyb: 7,2 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{4780}{250} = 19,12 \text{ mm} \geq 17,2 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek SLP1

Typ prvku: vnější nosný sloup



Obr. 8.13: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – SLP1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO1

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B134	CO1/1	0,000	-1421,13	-0,72	2,51	0,00	0,00	0,00
B119	CO1/2	8,000	807,78	0,48	-1,30	0,03	-10,40	3,74
B109	CO1/3	5,320	132,06	-26,08	-6,29	0,61	8,28	33,69
B110	CO1/4	0,000	45,49	14,30	2,65	1,83	-3,05	-39,95
B125	CO1/5	0,000	-512,01	-14,24	-44,69	8,59	59,87	20,99
B124	CO1/6	2,660	-646,47	5,83	27,01	-8,74	-74,13	-15,84
B122	CO1/7	7,920	88,41	-0,36	-25,99	-19,44	-4,48	12,04
B115	CO1/8	5,300	-364,00	-18,71	-4,28	12,82	5,77	25,25
B124	CO1/9	2,660	-654,39	-6,21	-30,43	0,00	-80,93	-16,52
B124	CO1/6	8,000	-637,65	5,83	27,01	-8,74	70,10	15,27
B109	CO1/10	5,320	229,29	7,55	2,79	0,09	14,77	40,14

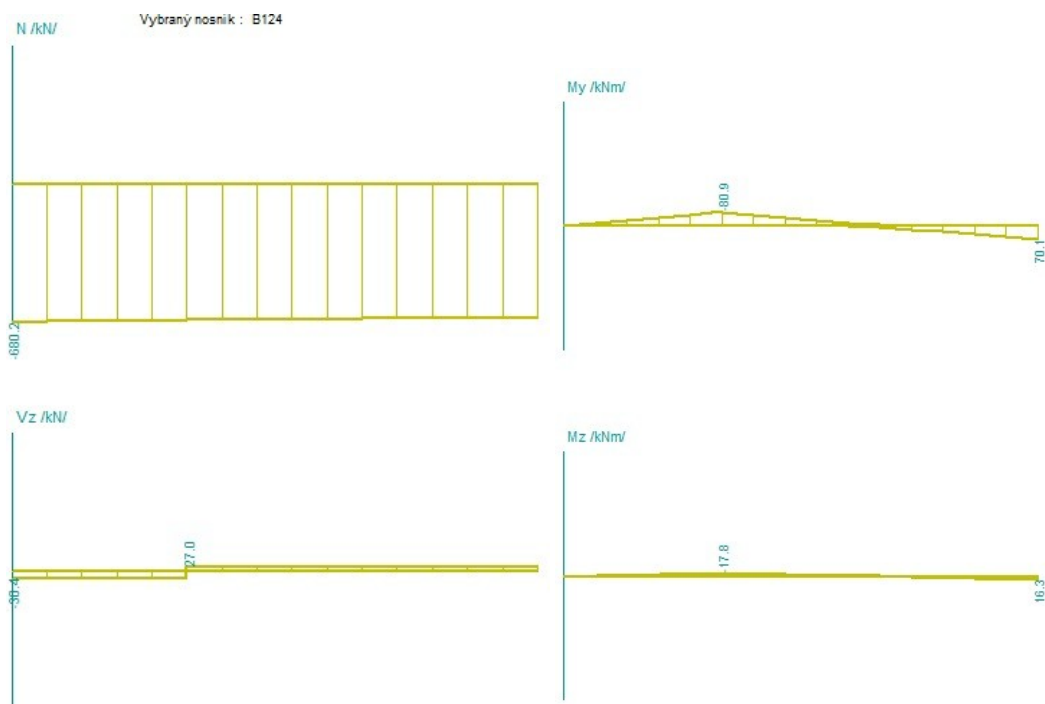
Obr. 8.14: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SLP1

$$N_{Ed,max} = -1468,54 \text{ kN} \quad \text{kombinace C02/3}$$

$$V_{Ed,max} = -70,22 \text{ kN} \quad \text{kombinace C02/2}$$

$$M_{y,Ed,max} = -80,93 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C01/6}$$

$$M_{z,Ed,max} = -74,59 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C02/2}$$



Obr. 8.15: Průběh vnitřních sil s maximálním ohybovým momentem – SLP1

Navrhovaný průřez: CHS 273x20

Zatřídění průřezu:

$$\frac{d}{t} = \frac{273}{20} = 13,65 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{f_y}} \right)^2 = 50 \cdot 1,0 = 50 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na kroucení:

- Vzhledem k tomu, že kruhový průřez je dostatečně tuhý, můžeme zanedbat

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v :

$$A_v = 10120 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{10,12 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1373 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{70,22}{1373} = 0,051 \leq 1,0 - \textbf{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčnicku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

Vzpěrná únosnost prutu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu pro průřez třídy 1,2 a 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti dutého průřezu k příslušné ploše : $i = 89,7 \text{ mm}$

Kritická délka: $L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 8,0 = 8,0 \text{ m}$

Pro průřezy 1,2,3 třídy: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{Cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{8,0}{0,0897 \cdot 93,9} = 0,9497$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,57$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,57 \cdot 15,896 \cdot 10^{-3} \cdot 235000}{1,0} = 2129,3 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1468,54}{2129,3} = 0,69 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Ohyb a osový tlak prutů stálého průřezu: Kombinace s maximálním ohybovým momentem

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Prostorovou ztrátu stability neuvažujeme, pouze rovinný vzpěr. Vliv prostorového vzpěru bude zohledněn v určené křivce vzpěrnosti.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 15,896 \cdot 10^{-3} \cdot 235000 = 3735,56 \text{ kN}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti dutého průřezu k příslušné ploše : $i = 89,7 \text{ mm}$

Kritická délka: $L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 8,0 = 8,0 \text{ m}$

Pro průřezy 1,2,3 třídy: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{8,0}{0,0897 \cdot 93,9} = 0,9498$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,57$$

Pro obě osy:

$$M_{Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,9376 \cdot 10^{-3} = 220,336 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} \Rightarrow c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,7498 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 0,7498 \cdot \frac{654}{\frac{0,57 \cdot 3735,56}{1,0}} \right) = 1,23$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,23 = 0,738$$

$$k_{zz} \Rightarrow c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left(1 + 0,7498 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 0,7498 \cdot \frac{654}{\frac{0,57 \cdot 3735,56}{1,0}} \right) = 1,23$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (zanedbávám účinky klopení vzhledem k předešlému výpočtu)

Dosadím:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{654}{\frac{0,57 \cdot 3735,56}{1,0}} + 1,23 \cdot \frac{80,93 + 0}{\frac{1,0 \cdot 220,336}{1,0}} + 0,738 \cdot \frac{16,52 + 0}{\frac{220,336}{1,0}} \leq 1$$

$0,814 \leq 1,0$ -Průřez vyhoví

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO1-pou

Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO1-pou/23	B109	4,256	-7,5	1/1066	-0,7	1/7582
CO1-pou/24	B155	1,500	6,5	1/229	1,3	1/1129
CO1-pou/25	B154	1,500	-3,3	1/450	-5,6	1/266
CO1-pou/26	B154	1,500	-1,8	1/843	-5,9	1/255
CO1-pou/27	B124	3,194	0,2	1/10000	9,0	1/888
CO1-pou/28	B157	1,500	4,9	1/306	4,7	1/319

Obr. 8.16: Hodnoty relativních deformací – SLP1

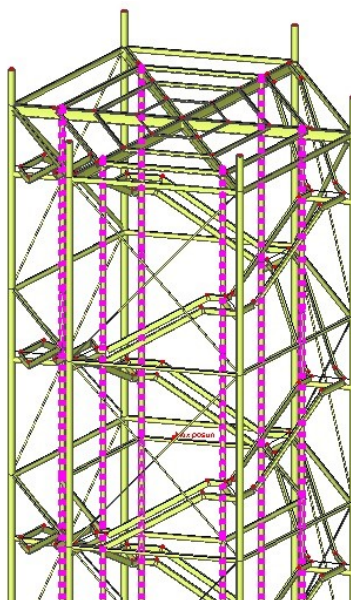
Výsledný maximální průhyb: 9,0 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{8000}{400} = 20 \text{ mm} \geq 9,0 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek SLP2

Typ prvku: vnitřní nosný sloup



Obr. 8.17: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - SLP2

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO1

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B10	CO1/19	0,000	-440,87	-1,96	-7,10	0,00	0,00	0,00
B368	CO1/20	7,900	-2,16	3,97	-3,53	-3,37	0,00	0,00
B1	CO1/3	5,320	-147,76	-22,44	-4,54	2,66	8,14	29,45
B9	CO1/3	7,980	-125,67	14,02	-46,53	4,51	-2,57	7,24
B384	CO1/21	7,368	-74,00	-0,14	58,85	-0,72	11,33	0,07
B36	CO1/22	7,940	-176,09	-12,26	-8,72	-8,56	-2,34	-1,71
B46	CO1/2	0,000	-154,69	-7,12	-13,18	9,91	17,75	10,83
B11	CO1/3	2,660	-115,62	-2,23	-17,11	0,00	-45,52	-5,92
B11	CO1/3	8,000	-116,97	3,84	16,30	-5,03	46,72	14,03
B1	CO1/3	8,000	-145,27	-22,44	-4,54	2,66	-4,02	-30,69
B1	CO1/2	5,320	-113,45	5,75	1,71	0,00	9,08	30,57

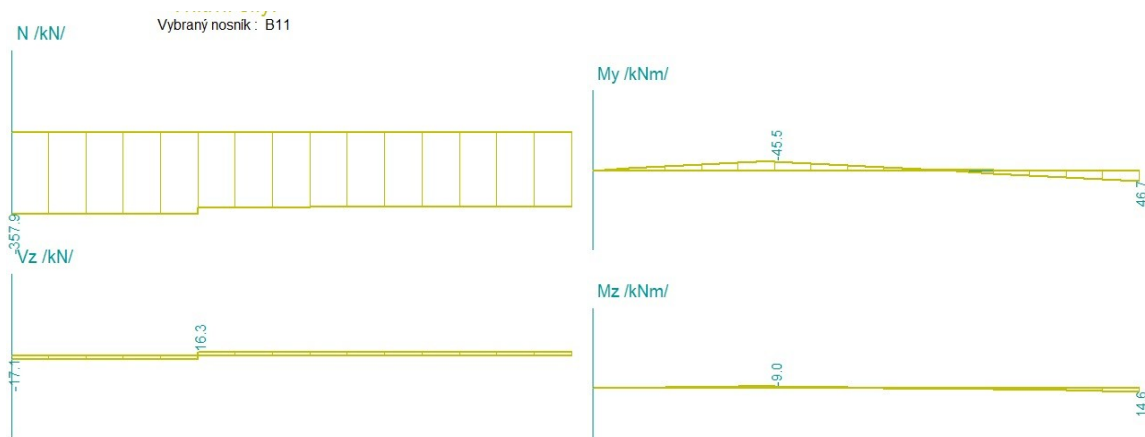
Obr. 8.18: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SLP2

$$N_{Ed,max} = -440,87 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO1/19}$$

$$V_{Ed,max} = 58,85 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO1/21}$$

$$M_{y,Ed,max} = 46,72 \text{ kNm} \quad \text{kombinace CO1/3}$$

$$M_{z,Ed,max} = -45,35 \text{ kNm} \quad \text{kombinace CO2/2}$$



Obr. 8.19: Průběh vnitřních sil s maximálním ohybovým momentem – SLP2

Navrhovaný průřez: CHS 194x16

Zatřídění průřezu:

$$\frac{d}{t} = \frac{194}{16} = 12,125 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{f_y}} \right)^2 = 50 \cdot 1,0 = 50 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na kroucení:

- Vzhledem k tomu, že kruhový průřez je dostatečně tuhý, můžeme zanedbat

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v :

$$A_v = 5696 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{5,696 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 772,82 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{58,85}{772,82} = 0,076 \leq 1,0 - \textbf{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčnicku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

Vzpěrná únosnost prutu:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu pro průřez třídy 1,2 a 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti dutého průřezu k příslušné ploše : $i = 63,2 \text{ mm}$

Kritická délka: $L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 8,0 = 8,0 \text{ m}$

Pro průřezy 1,2,3 třídy: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{8,0}{0,0632 \cdot 93,9} = 1,348$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,38$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,38 \cdot 8,947 \cdot 10^{-3} \cdot 235000}{1,0} = 798,967 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{440,87}{798,967} = 0,552 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Ohyb a osový tlak prutů stálého průřezu: Kombinace s maximálním ohybovým momentem

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Prostorovou ztrátu stability neuvažujeme, pouze rovinný vzpěr. Vliv prostorového vzpěru bude zohledněn v určené křivce vzpěrnosti.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 8,947 \cdot 10^{-3} \cdot 235000 = 2102,6 \text{ kN}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti dutého průřezu k příslušné ploše : $i = 63,2 \text{ mm}$

Kritická délka: $L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 8,0 = 8,0 \text{ m}$

Pro průřezy 1,2,3 třídy: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{Cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{8,0}{0,0632 \cdot 93,9} = 1,348$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,38$$

Pro obě osy:

$$M_{Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,3683 \cdot 10^{-3} = 86,55 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} \Rightarrow c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 1,148 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 1,148 \cdot \frac{116,97}{\frac{0,38 \cdot 2102,6}{1,0}} \right) = 1,168$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,168 = 0,70$$

$$k_{zz} \Rightarrow c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left(1 + 1,148 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 1,148 \cdot \frac{116,97}{\frac{0,38 \cdot 2102,6}{1,0}} \right) = 1,168$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (zanedbávám účinky klopení vzhledem k předešlému výpočtu)

Dosadím:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{116,97}{\frac{0,38 \cdot 2102,6}{1,0}} + 1,168 \cdot \frac{46,72+0}{\frac{1,0 \cdot 86,55}{1,0}} + 0,70 \cdot \frac{14,03+0}{\frac{86,55}{1,0}} \leq 1$$

$0,891 \leq 1,0$ -Průřez vyhoví

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO1-pou

Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO1-pou/29	B380	0,000	-24,8	1/318	0,0	0
CO1-pou/30	B365	7,900	17,3	1/918	0,0	0
CO1-pou/31	B381	0,000	10,0	1/793	0,0	0
CO1-pou/32	B368	7,900	0,0	0	-36,3	1/438
CO1-pou/33	B11	2,660	0,0	0	12,9	1/621
CO1-pou/34	B384	0,000	0,0	0	12,3	1/426

Obr. 8.20: Hodnoty relativních deformací – SLP2

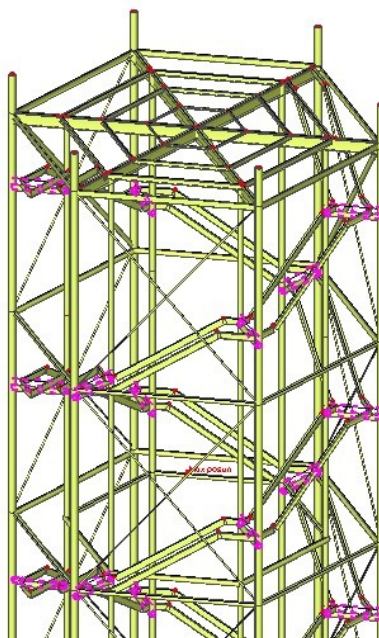
Výsledný maximální průhyb: -36,3 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{16000}{400} = 40 \text{ mm} \geq 36,3 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek KON1

Typ prvku: příčná podpěra



Obr. 8.21: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - KON1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO2

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B1408	CO2/4	0,000	-72,54	-38,05	44,19	-5,90	0,00	10,67
B428	CO2/2	0,000	62,97	37,61	-21,25	-10,93	0,00	7,87
B439	CO2/9	0,000	-14,24	-57,26	45,77	10,04	0,00	26,29
B424	CO2/2	0,000	-32,11	99,53	-23,68	-19,99	0,00	-33,15
B438	CO2/10	2,000	-20,11	41,05	-52,00	-10,11	0,00	11,90
B439	CO2/11	0,000	-16,15	-53,88	51,57	9,62	0,00	26,01
B424	CO2/3	1,639	4,59	-56,10	38,68	16,44	-13,91	36,09
B424	CO2/2	1,639	4,43	-55,85	42,06	16,37	-15,13	36,02
B434	CO2/12	0,364	0,63	0,31	-8,47	-2,40	23,18	-12,98
B425	CO2/3	0,000	-17,51	78,58	-10,77	-13,64	0,00	-37,93

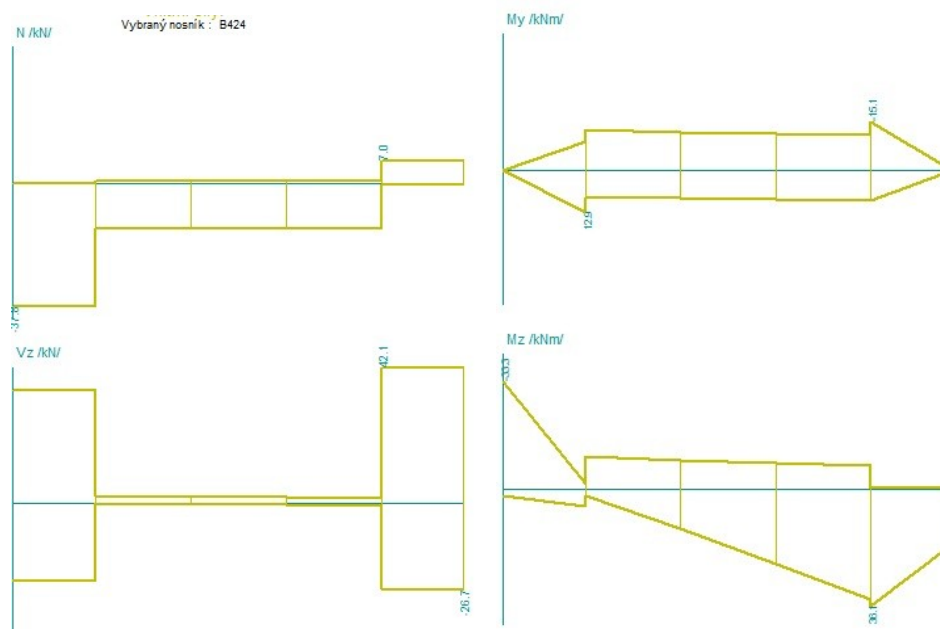
Obr. 8.22: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – KON1

$$N_{Ed,max} = -85,26 \text{ kN} \quad \text{kombinace C03/10}$$

$$V_{Ed,max} = 70,97 \text{ kN} \quad \text{kombinace C01/17}$$

$$M_{y,Ed,max} = 25,54 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C01/17}$$

$$M_{z,Ed,max} = 36,09 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C02/3}$$



Obr. 8.23: Průběh vnitřních sil s maximálním ohybovým momentem – KON1

Navrhovaný průřez: CHS 194x12,5

Zatřídění průřezu:

$$\frac{d}{t} = \frac{194}{12,5} = 15,25 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{f_y}} \right)^2 = 50 \cdot 1,0 = 50 - \text{Třída průřezu 1}$$

Posouzení ohybu a osově síly:

Pro výpočet použiji konzervativní lineární sumaci složek využití průřezu pro všechny složky výslednice napětí dle [5]. Pro tento průřez musí splňovat tuto podmínku:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Ed} = 4,59 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 13,91 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 36,09 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15,896 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 3735,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,z,Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,304 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0} = 71,44 \text{ kNm}$$

$$\frac{4,59}{3735,6} + \frac{13,91}{71,44} + \frac{36,09}{71,44} = 0,701 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO2- pou						
Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO2- pou/13	B1415	0,000	-1,4	1/259	0,0	0
CO2- pou/14	B444	1,207	0,7	1/2761	-0,5	1/3695
CO2- pou/15	B1437	0,363	0,4	1/992	0,0	0
CO2- pou/16	B434	0,787	0,7	1/2835	-1,0	1/1990
CO2- pou/17	B424	1,216	-1,0	1/1978	0,5	1/3843
CO2- pou/17	B424	1,216	-1,0	1/1978	0,5	1/3843

Obr. 8.24: Hodnoty relativních deformací - KON1

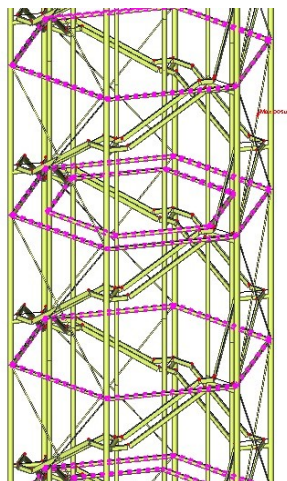
Výsledný průhyb: 14,4 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{6700}{400} = 26,8 \text{ mm} \geq 14,4 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek VZT 1

Typ prvku: příčná výztuha mezi sloupy



Obr. 8.25: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - VZT1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Kombinace : CO1

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B1444	CO1/1	0,010	-315,44	-3,69	2,12	1,37	-3,65	11,80
B1441	CO1/2	0,000	91,15	-0,03	2,13	0,79	0,00	-0,54
B1440	CO1/2	6,690	-21,54	-74,50	-61,39	-10,83	0,60	-7,84
B1456	CO1/3	0,000	-3,08	10,50	33,40	0,77	0,00	-0,91
B1440	CO1/4	6,700	-20,96	-73,33	-67,50	-10,26	0,00	-9,02
B1444	CO1/5	0,000	-0,83	7,23	36,80	0,38	0,00	-0,31
B1448	CO1/6	6,680	-22,27	-71,82	-42,97	-14,07	0,85	-1,99
B1530	CO1/7	0,000	-25,34	-6,63	1,50	2,05	0,00	18,63
B1456	CO1/7	0,030	-222,34	-5,80	2,90	0,18	-5,20	20,20
B388	CO1/8	5,179	-4,76	-0,05	0,00	-0,01	5,52	0,01
B1536	CO1/7	4,700	-13,69	-10,24	-1,50	0,36	0,00	-29,51
B1448	CO1/1	6,680	-53,09	6,39	-1,28	0,26	1,94	22,26

Obr. 8.26: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer - VZT 1

$$N_{Ed,max} = -315,44 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO1/1}$$

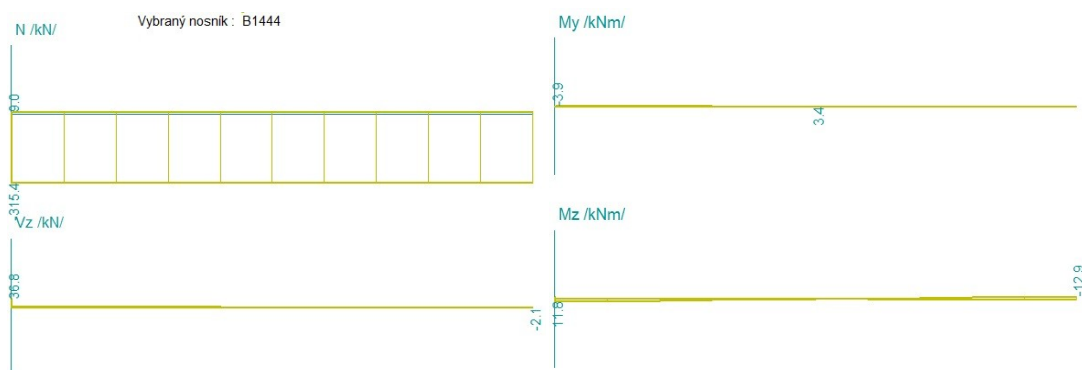
$$V_{Ed,max} = -74,50 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO1/2}$$

$$M_{y,Ed,max} = -5,20 \text{ kNm}$$

kombinace C01/7

$$M_{z,Ed,max} = 38,18 \text{ kNm}$$

kombinace C04/3

Navrhovaný průřez: **CHS 168x12,5**

Zatřídění průřezu:

$$\frac{d}{t} = \frac{168}{12,5} = 13,44 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{f_y}} \right)^2 = 50 \cdot 1,0 = 50 - \text{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na kroucení:

- Vzhledem k tomu, že kruhový průřez je dostatečně tuhý, můžeme zanedbat

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v :

$$A_v = 3888 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{3,888 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 527,513 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{74,5}{527,513} = 0,141 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčnicku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

Ohyb a osový tlak prutů stálého průřezu:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

Prostorovou ztrátu stability neuvažujeme, pouze rovinný vzpěr. Vliv prostorového vzpěru bude zohledněn v určené křivce vzpěrnosti.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 6,106 \cdot 10^{-3} \cdot 235000 = 1434,91 \text{ kN}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti dutého průřezu k příslušné ploše : $i = 55,2 \text{ mm}$

$$\text{Kritická délka: } L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 6,7 = 6,7 \text{ m}$$

$$\text{Pro průřezy 1,2,3 třídy: } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{6,7}{0,552 \cdot 93,9} = 1,292$$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,35$$

Pro obě osy:

$$M_{Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,1536 \cdot 10^{-3} = 51,959 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} \Rightarrow c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 1,092 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 1,092 \cdot \frac{315}{\frac{0,35 \cdot 1434,91}{1,0}} \right) = 1,685$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,685 = 1,011$$

$$k_{zz} \Rightarrow c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \leq c_{mz} \left(1 + 1,092 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 1,092 \cdot \frac{\frac{315}{0,35 \cdot 1434,91}}{1,0} \right) = 1,685$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (zanedbávám účinky klopení vzhledem k předešlému výpočtu)

Dosadím:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{315}{0,35 \cdot 1434,91}}{1,0} + 1,685 \cdot \frac{\frac{3,65+0}{1,0 \cdot 51,9585}}{1,0} + 1,011 \cdot \frac{\frac{11,8+0}{51,9585}}{1,0} \leq 1$$

$0,975 \leq 1,0$ -**Průřez vyhoví**

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Kombinace : CO4-pou

Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO4-pou/1	B1449	4,020	-5,0	1/1343	-3,0	1/2226
CO4-pou/2	B1445	5,360	3,8	1/1753	-1,9	1/3569
CO4-pou/3	B1538	1,880	3,3	1/1445	-0,7	1/6430
CO4-pou/4	B1441	2,680	0,1	1/10000	-3,0	1/2226
CO4-pou/5	B1533	4,700	0,0	1/10000	0,0	1/10000

Obr. 8.27: Hodnoty relativních deformací - VZT1

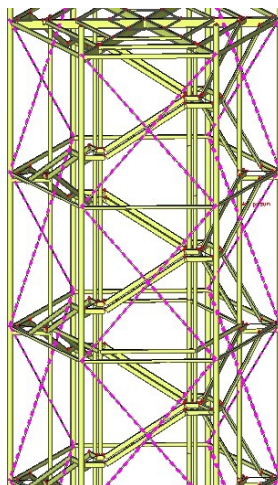
Výsledný průhyb: -5,0 mm

Maximální dovolený průhyb:

$$\delta_{max} = \frac{L}{400} = \frac{6700}{400} = 26,8 \text{ mm} \geq 5,0 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek THL 1

Typ prvku: zavětrovací táhlo



Obr. 8.28: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - THL1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Třída : Všechny MSU								
Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B179	CO2/1	0,000	-26,40	0,00	0,98	0,00	0,00	-0,02
B179	CO2/2	10,435	498,38	0,06	-0,73	-0,06	0,00	0,24
B174	CO2/3	0,000	319,16	-0,06	0,98	0,02	0,00	0,32
B183	CO2/2	0,000	347,56	0,07	0,73	-0,01	0,00	-0,33
B159	CO2/4	10,435	8,48	0,00	-0,98	0,00	0,00	0,00
B159	CO2/4	0,000	6,13	0,00	0,98	0,00	0,00	0,00
B179	CO2/3	0,000	494,24	0,06	0,98	-0,06	0,00	-0,39
B390	CO2/5	0,000	183,69	0,02	0,98	0,03	0,00	-0,18
B390	CO2/6	0,000	190,68	0,02	0,98	0,02	0,00	-0,15
B159	CO2/4	4,870	7,23	0,00	0,07	0,00	2,56	0,00
B179	CO2/7	0,000	451,18	0,06	0,98	-0,05	0,00	-0,39
B183	CO2/2	10,435	349,30	0,07	-0,73	-0,01	0,00	0,39

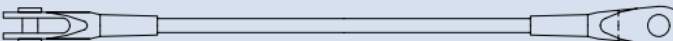
Obr. 8.29: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer - THL 1

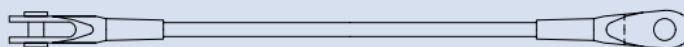
$$N_{Ed,max} = 498,38 \text{ kN}$$

kombinace CO2/2

Navrhovaný průřez: táhlo Macalloy M42

Tabulka 1: Vlastnosti táhel Macalloy ve standardním provedení a v nerez provedení																
Závit	jednotka	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90*	M100*
Průměr táhla	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97
Minimální mez kluzu	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172
Minimální mez pevnosti	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206
Hmotnost táhla	Kg/m	0,50	0,75	1,40	2,20	3,00	4,80	7,10	9,40	12,50	16,70	22,20	32,00	41,50	46,70	58,00





Obr. 8.30: Tabulka vlastností táhel Macalloy

Posouzení na tah:

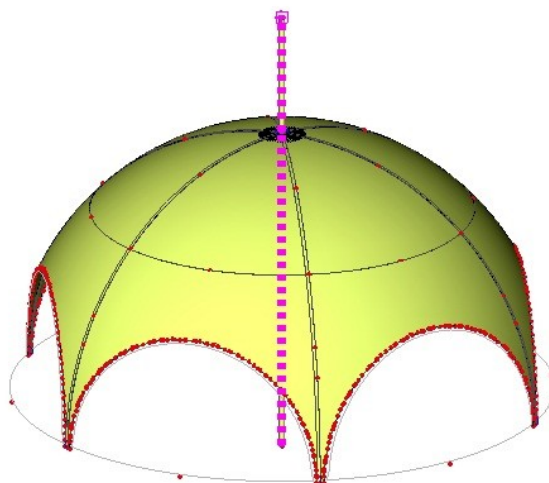
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Rd} = 501 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{498,38}{501} = 0,995 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek STO 1

Typ prvku: stožár



Obr. 8.31: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - STO1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Třída : Všechny MSU

Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B1515	CO1/1	0,000	-80,43	-0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
B1515	CO4/4	8,200	139,01	5,02	0,00	0,00	0,03	3,38
B1515	CO4/6	0,000	129,07	-4,20	0,00	0,00	0,00	0,00
B1515	CO3/7	8,200	124,55	0,02	-5,21	0,00	-4,87	0,20
B1515	CO3/5	0,000	123,92	0,03	4,02	0,00	0,00	0,00
B1515	CO1/8	0,000	-15,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B1464	CO3/7	0,000	-2,22	0,00	3,38	0,00	-5,06	0,00
B1515	CO3/5	3,280	125,71	0,03	0,33	0,00	7,13	0,09
B1515	CO4/6	4,100	132,11	0,41	0,00	0,00	0,01	-7,77
B1464	CO4/6	0,000	-2,22	-3,38	0,00	0,00	0,00	5,06

Obr. 8.32: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer - STO1

$$N_{Ed,max} = 139,01 \text{ kN} \quad \text{kombinace C04/2}$$

$$V_{Ed,max} = 5,21 \text{ kN} \quad \text{kombinace C04/2}$$

$$M_{y,Ed,max} = 7,13 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C03/5}$$

$$M_{z,Ed,max} = -7,77 \text{ kNm} \quad \text{kombinace C04/3}$$

Navrhovaný průřez: **CHS 194x12,5**

Zatřídění průřezu:

$$\frac{d}{t} = \frac{194}{12,5} = 15,52 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \cdot \left(\sqrt{\frac{235}{f_y}} \right)^2 = 50 \cdot 1,0 = 50 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na kroucení:

- Vzhledem k tomu, že kruhový průřez je dostatečně tuhý, můžeme zanedbat

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v :

$$A_v = 4538 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{4,583 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 615,704 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{5,21}{605,704} = 0,008 \leq 1,0 - \textbf{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčnicku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osových sil.

Ohyb a osový tlak prutů stálého průřezu:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{yz} \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{M1} \cdot M_{z,Rk}} \leq 1$$

Prostorovou ztrátu stability neuvažujeme, pouze rovinný vzpěr. Vliv prostorového vzpěru bude zohledněn v určené křivce vzpěrnosti.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 7127 \cdot 10^{-3} \cdot 235000 = 1674,845 \text{ kN}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti dutého průřezu k příslušné ploše : $i = 64,3 \text{ mm}$

$$\text{Kritická délka: } L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 8,2 = 8,2 \text{ m}$$

$$\text{Pro průřezy 1,2,3 třídy: } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{8,2}{0,0643 \cdot 93,9} = 1,358$$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,368$$

Pro obě osy:

$$M_{Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 235 \cdot 10^3 \cdot 0,304 \cdot 10^{-3} = 71,44 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} \Rightarrow c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{yz} \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 1,158 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{yz} \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 1,158 \cdot \frac{132,11}{\frac{0,368 \cdot 1674,845}{1,0}} \right) = 1,248$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,248 = 0,749$$

$$k_{zz} \Rightarrow c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{yz} \cdot N_{Rk}} \right) \leq c_{mz} \left(1 + 1,158 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{yz} \cdot N_{Rk}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 1,158 \cdot \frac{132,11}{\frac{0,368 \cdot 1674,845}{1,0}} \right) = 1,248$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (zanedbávám účinky klopení vzhledem k předešlému výpočtu)

Dosadím:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{132,11}{\frac{0,368 \cdot 1674,845}{1,0}} + 1,248 \cdot \frac{7,77+0}{\frac{1,0 \cdot 71,44}{1,0}} + 0,749 \cdot \frac{0,01+0}{\frac{71,44}{1,0}} \leq 1$$

$0,35 \leq 1,0$ -Průřez vyhoví

Posouzení mezního stavu použitelnosti:

Maximální dovolený průhyb stožáru nad střechou:

Třída : Všechny MSU

Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO1/1	B1464	3,000	-0,4	1/6851	0,0	1/10000
CO2/2	B1464	3,000	11,8	1/254	0,0	1/10000
CO1/3	B1464	3,000	0,1	1/10000	-9,2	1/324
CO4/4	B1464	3,000	4,8	1/619	0,1	1/10000

Obr. 8.33: Hodnoty relativních deformací - ST01a

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{3000}{250} = 12 \text{ mm} \geq 11,8 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Maximální dovolený průhyb stožáru pod střechou:

Třída : Všechny MSU

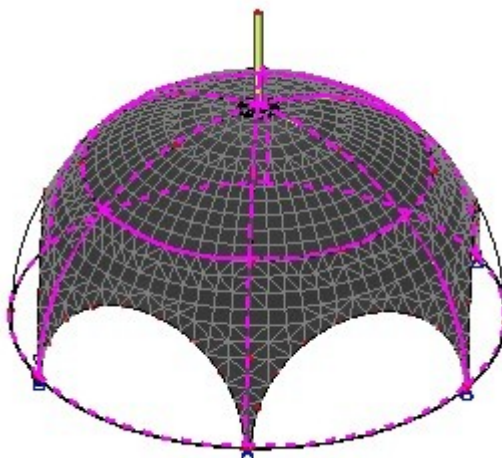
Stav - kombinace	Prut	dx [m]	uy [mm]	Rel uy [1/xx]	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
CO3/5	B1515	4,920	-0,2	1/10000	-6,9	1/1195
CO4/6	B1515	4,100	8,5	1/967	0,0	1/10000
CO3/5	B1515	4,100	-0,1	1/10000	-7,5	1/1100
CO1/3	B1515	4,920	0,0	1/10000	1,1	1/7448

Obr. 8.34: Hodnoty relativních deformací - ST01b

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{8200}{250} = 32,8 \text{ mm} \geq 8,5 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek VRCH 1

Typ prvku: skořepina - konstrukce zastřešení ve tvaru vrchlíku



Obr. 8.35: Umístění posuzovaného prvku v modelu Scia Engineer - VRCH1

Maximální vnitřní síly na prutu:

$$\begin{aligned}\sigma_{x+,Ed} &= -45,4 \text{ MPa}; & \sigma_{x-,Ed} &= -45,3 \text{ MPa} \\ \sigma_{y+,Ed} &= -36,3 \text{ MPa}; & \sigma_{y-,Ed} &= -28,7 \text{ MPa} \\ \tau_{xy+,Ed} &= -14,4 \text{ MPa}; & \tau_{xy-,Ed} &= -25,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Navrhovaný průřez: **Plech tl. 3 mm**

Posouzení plastického limitu:

Návrhové napětí $\sigma_{eq,Ed}$ musí v každém bodě deskostěnové konstrukce splňovat podmínku:

$$\sigma_{eq,Ed} \leq \sigma_{eq,Rd}$$

Největší hodnota srovnávací hodnota Misesova napětí:

$$\begin{aligned}\sigma_{eq,Rd1} &= \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{y,Ed} + 3 \cdot \tau_{xy,Ed}^2} = \\ &= \sqrt{45,4^2 + 36,3^2 - 45,4 \cdot 36,3 + 3 \cdot 14,4^2} = 62,68 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{eq,Rd2} &= \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{y,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{y,Ed} + 3 \cdot \tau_{xy,Ed}^2} = \\ &= \sqrt{45,3^2 + 28,7^2 - 45,3 \cdot 28,7 + 3 \cdot 25,0^2} = 58,74 \text{ MPa}\end{aligned}$$

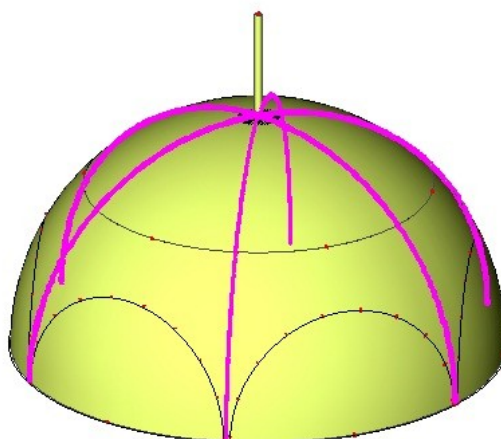
Misesovo srovnávací napětí:

$$\sigma_{eq,Rd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{eq,Ed}}{\sigma_{eq,Rd}} = \frac{62,68}{235} = 0,267 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Prvek VZK 1

Typ prvku: schodnice schodiště



Obr. 8.36: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – VZK1

Maximální vnitřní síly na prutu:

Třída : Všechny MSU								
Prut	Stav	dx [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
B1519	CO4/1	10,522	-148,44	15,93	1,36	-0,10	0,17	-0,08
B1517	CO1/2	10,522	89,64	-9,54	-0,73	0,07	-0,10	0,06
B1521	CO1/2	10,522	72,25	-10,03	-0,82	0,22	-0,10	0,06
B1516	CO4/1	0,000	60,90	17,02	-0,03	-0,24	-0,27	0,03
B1517	CO2/3	0,000	-8,46	-0,70	-2,25	0,01	-0,04	0,00
B1520	CO4/1	0,000	69,34	12,91	3,58	-0,18	-0,21	0,01
B1520	CO4/4	1,754	20,92	-3,87	-1,26	-1,12	-0,01	5,50
B1517	CO4/4	1,754	20,78	-3,75	0,92	1,15	0,01	5,51
B1517	CO4/4	0,438	49,73	7,14	-0,37	0,41	-0,47	4,28
B1520	CO4/4	0,438	67,97	7,16	1,15	-0,60	0,43	4,28
B1521	CO4/1	10,084	-91,59	5,04	0,58	-0,05	-0,06	-4,63
B1516	CO4/1	1,315	42,67	-0,33	0,30	0,43	-0,02	9,37

Obr. 8.37: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SCH1

$$N_{Ed,max} = -148,44 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO4/1}$$

$$V_{Ed,max} = -17,02 \text{ kN} \quad \text{kombinace CO4/1}$$

$$M_{z,Ed,max} = -9,37 \text{ kNm} \quad \text{kombinace CO4/1}$$

Navrhovaný průřez: **P 100x30**

Zatřídění průřezu:

$$\frac{c}{t} = \frac{100}{30} = 3,33 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 72 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 72 - \textbf{Třída průřezu 1}$$

Posouzení na smyk:

$$\frac{V_{ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Smyková plocha A_v v místě šroubu:

$$A_{v,net} = A = 100 \cdot 30 - 18 \cdot 30 = 2460 \text{ mm}^2$$

Návrhová plastická únosnost ve smyku se stanoví:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{2,46 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 333,76 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{17,02}{333,76} = 0,05 \leq 1,0 - \textbf{Průřez vyhoví}$$

Posouzení průřezu na smyk v oslabené části bude řešen při posuzování styčnicku. V_{Ed} je menší než 50% $V_{pl,Rd}$. Je možné zanedbat její účinek na únosnost průřezu při působení ohybu a osově síly.

Ohyb a osový tlak prutů stálého průřezu:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

Prostorovou ztrátu stability neuvažujeme, pouze rovinný vzpěr. Vliv prostorového vzpěru bude zohledněn v určené křivce vzpěrnosti.

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3000 \cdot 10^{-6} \cdot 235000 = 705 \text{ kN}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ ale } \chi \leq 1,0 - \text{určíme z tabulky křivek vzpěrné pevnosti}$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9$$

Poloměr setrvačnosti průřezu k příslušné ploše : $i = 40 \text{ mm}$

Kritická délka: $L_{cr} = \beta \cdot l = 1,0 \cdot 5,3 = 5,3 \text{ m}$

Pro průřezy 1,2,3 třídy: $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Cr}}} = \frac{L_{Cr}}{i \cdot \lambda_1} = \frac{5,3}{0,05 \cdot 93,9} = 1,129$

Pro uzavřené profily je určující křivka vzpěrnosti c – platí pro vybočení v obou osách.

$$\Rightarrow \chi = 0,469$$

Pro obě osy:

$$M_{Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 235 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,03 \cdot 0,1^2 = 11,75 \text{ kNm}$$

Pro maximální normálovou sílu a příslušné momenty:

$$k_{yy} \Rightarrow c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,929 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 0,929 \cdot \frac{42,67}{\frac{0,469 \cdot 705}{1,0}} \right) = 1,12$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,12 = 0,67$$

$$k_{zz} \Rightarrow c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left(1 + 0,929 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 0,929 \cdot \frac{42,67}{\frac{0,469 \cdot 705}{1,0}} \right) = 1,12$$

$\chi_{LT} = 1,0$ (zanedbávám účinky klopení vzhledem k předešlému výpočtu)

Dosadím:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{42,67}{\frac{0,469 \cdot 705}{1,0}} + 1,12 \cdot \frac{0,02 + 0}{\frac{1,0 \cdot 11,75}{1,0}} + 0,67 \cdot \frac{9,37 + 0}{\frac{11,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,667 \leq 1,0 \text{ -Průřez vyhoví}$$

Pro maximální ohybový moment, příslušné momenty a normálovou sílu:

$$k_{yy} \Rightarrow c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,929 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 0,929 \cdot \frac{148,44}{\frac{0,469 \cdot 705}{1,0}} \right) = 1,417$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,417 = 0,85$$

$$k_{zz} \Rightarrow c_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq c_{mz} \left(1 + 0,929 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} \Rightarrow 1,0 \left(1 + 0,929 \cdot \frac{148,44}{\frac{0,469 \cdot 705}{1,0}} \right) = 1,417$$

$$\chi_{LT} = 1,0 \text{ (zanedbávám účinky klopení vzhledem k předešlému výpočtu)}$$

Dosadím:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{148,44}{\frac{0,469 \cdot 705}{1,0}} + 1,417 \cdot \frac{0,17+0}{\frac{1,0 \cdot 11,75}{1,0}} + 0,85 \cdot \frac{0,08+0}{\frac{11,75}{1,0}} \leq 1$$

$$0,475 \leq 1,0 \text{ -Průřez vyhoví}$$

8.7. Shrnutí navržených profilů

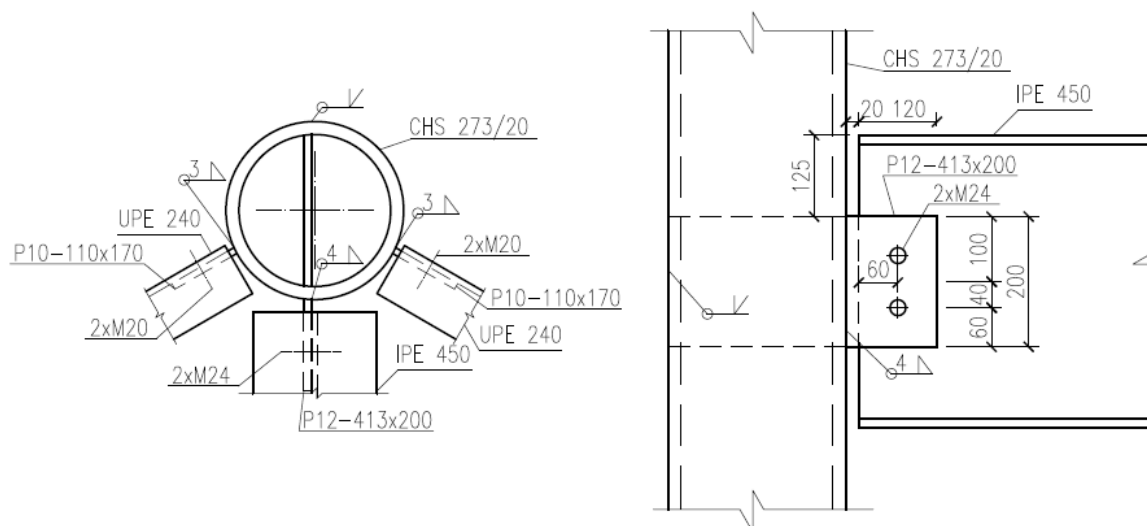
Prvek	Označení	Profil[mm]:	Ocel:	Posudek:	Hodnoty:
Průvlak vyhlídky	TR1	IPE450	S235	ohyb a osová síla	0,911 < 1,0
Okrajová stropnice vyhlídky	TR2	UPN240	S235	ohyb a osová síla	0,705 < 1,0
Vnitřní stropnice 1	TR3	IPE200	S235	ohyb a osová síla	0,912 < 1,0
Vnitřní stropnice 2	TR4	IPE160	S235	ohyb a osová síla	0,805 < 1,0
Vnitřní stropnice 3	TR5	IPE80	S235	ohyb a osová síla	0,900 < 1,0
Schodnice schodiště	SCH1	UPE240	S235	ohyb a osová síla	0,668 < 1,0
Vnější sloup	SLP1	Kruhov ^á trubka CHS 273x20	S235	ohyb a osový tlak	0,814 < 1,0
Vnitřní sloup	SLP2	Kruhov ^á trubka CHS 194x16	S235	ohyb a osový tlak	0,891 < 1,0
Příčná podpěra	KON1	Kruhov ^á trubka CHS 194x12,5	S235	ohyb a osová síla	0,701 < 1,0
Příčná výztuha mezi sloupy	VZT1	Kruhov ^á trubka CHS 168x12,5	S235	ohyb a osový tlak	0,975 < 1,0
Zavětrovací táhlo	THL1	Macalloy M42	S460	tah	0,995 < 1,0
Stožár	STO1	Kruhov ^á trubka CHS 194x12,5	S235	ohyb a osový tlak	0,35 < 1,0
Skořepina	VRCH1	Plech 3 mm	S235	Plastický limit	0,242 < 1,0
Výztuha skořepiny	VZK1	P 100x30	S235	ohyb a osový tlak	0,465 < 1,0

Tabulka 8.6: Shrnutí všech navržených profilů

9. Návrh a posouzení vybraných spojů

9.1. Přípoj průvlaku a stropnice na sloup

9.1.1. Posouzení přípoje průvlaku



Obr. 9.1: Detail připojení průvlaku na sloup

Vnitřní síly od průvlaku:

$$N_{Ed} = 51,16 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed,max} = 61,25 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed,max} = 23,01 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M24, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubech:

$$F_v = \frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{61,25}{2} = 30,63 \text{ kN}$$

$$F_h = \frac{N_{Ed}}{2} + V_{z,Ed} \cdot \frac{e}{p} = \frac{51,16}{2} + 61,25 \cdot \frac{80}{80} = 86,83 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{30,36^2 + 104,754^2} = 92,07 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 353 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 135,52 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: P12 – 413x200, ocel 235

Otláčení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \end{array} \right. \Rightarrow 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 26} = 0,769 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,766 \end{array} \right. \Rightarrow 0,766$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,766 \cdot 360000 \cdot 0,024 \cdot 0,012}{1,25} = 158,84 \text{ kN}$$

Otláčení na stojině:

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = 0,766$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,766 \cdot 360000 \cdot 0,024 \cdot 0,0094}{1,25} = 124,43 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 109,07 \text{ kN} \leq \min(158,84; 124,43)$$

109,07 kN < 124,43 kN – **Vyhovuje**

Únosnost koutového svaru:

Návrh svaru: 4 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{61,25 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,2} = 38,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{51,16 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 2 \cdot 0,2} + \frac{61,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,08}{2 \cdot \frac{0,004 \cdot 0,2^2}{6}} = 123,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 112,385 = 87,57 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{87,57^2 + 3 \cdot (38,28^2 + 87,57^2)} = 187,28 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 187,27 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 87,57 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů z nosníku při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 9,4 \cdot \left(60 - \frac{26}{2}\right) = 441,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 9,4 \cdot (170 + 80 - 1,5 \cdot 26) = 1983,4 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 441,8 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 1983,4 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 410,5 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

$$410,5 \geq 61,25 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

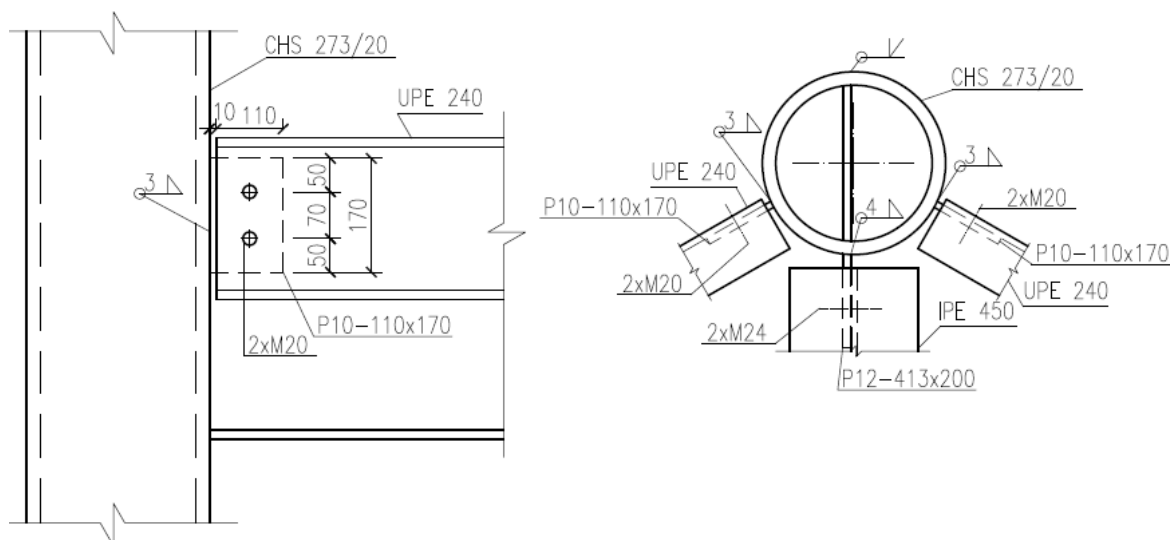
$$A_{nt} = t_p \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 12 \cdot \left(60 - \frac{26}{2}\right) = 564 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_p \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 12 \cdot (60 + 80 - 1,5 \cdot 26) = 1212 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 564 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 1212 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 344,9 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

$$344,9 \geq 61,25 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

9.1.2. Posouzení přípoje stropnice



Obr. 9.2: Detail připojení stropnice na sloup

Vnitřní síly od stropnice:

$$N_{Ed} = 34,83 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 22,7 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M20, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubech:

$$F_v = \frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{22,7}{2} = 11,35 \text{ kN}$$

$$F_h = \frac{N_{Ed}}{2} + V_{z,Ed} \cdot \frac{e}{p} = \frac{34,83}{2} + 22,7 \cdot \frac{60}{70} = 36,872 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{11,35^2 + 36,872^2} = 38,579 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 353 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 94,08 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: P10 – 110x170, ocel 235

Otlačení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ 2,5 \right. \\ \left. 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{22} - 1,7 = 3,39 \Rightarrow 2,5 \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0,757 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,81 \end{array} \right. \Rightarrow 0,757$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,757 \cdot 360000 \cdot 0,02 \cdot 0,01}{1,25} = 109 \text{ kN}$$

Otlačení na stojině:

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = 0,757$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,757 \cdot 360000 \cdot 0,02 \cdot 0,0095}{1,25} = 103,56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 38,579 \text{ kN} \leq \min(109; 103,56)$$

$$38,579 \text{ kN} < 103,56 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru:

Návrh svaru: 3 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{22,7 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,17} = 22,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{34,83 \cdot 10^{-3}}{0,003 \cdot 2 \cdot 0,17} + \frac{22,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,07}{2 \cdot \frac{0,003 \cdot 0,17^2}{6}} = 81,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 81,28 = 57,47 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{57,47^2 + 3 \cdot (22,26^2 + 57,47^2)} = 121,23 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 121,23 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 57,47 \text{ Mpa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů z nosníku při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2} \right) = 9,5 \cdot \left(50 - \frac{22}{2} \right) = 370,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 9,5 \cdot (67 + 70 - 1,5 \cdot 22) = 988 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 370,5 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 988 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 252,6 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

$252,6 \geq 22,7 \text{ kN}$ – **Vyhovuje**

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_p \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2} \right) = 10 \cdot \left(50 - \frac{22}{2} \right) = 390 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_p \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 10 \cdot (50 + 70 - 1,5 \cdot 22) = 870 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 390 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 870 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 242,84 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

$242,84 \geq 22,7 \text{ kN}$ – **Vyhovuje**

Posouzení kruhové trubky na porušení povrchu:

$$N_{i,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot \frac{1+0,25 \cdot \eta}{\gamma_{M5}}$$

$$n_p = \frac{\frac{121,23}{235}}{1,0} = 0,516$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot 0,516 \cdot (1 + 0,516) = 0,765$$

$$\eta = \frac{h_p}{d} = \frac{170}{273} = 0,623$$

$$N_{i,Rd} = 5 \cdot 0,765 \cdot 235 \cdot 20^2 \cdot \frac{1+0,25 \cdot 0,623}{1,0} = 404,35 \text{ kN} \geq F_h = 36,872 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Vliv páčení:

$$a = 75 \text{ mm}; b = 75 \text{ mm}, t_p = 30 \text{ mm}$$

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{75 \cdot 30^2}{75}} = 41,51 \text{ mm}$$

$$t_e = 41,51 < t_p = 40 \text{ mm} \text{ -vliv páčení musíme uvážit}$$

$$F_{1,Ed} = \gamma_p \cdot F_{1,Ed}$$

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \cdot \left(\frac{t_e^2 - t_p^2}{d^2} \right) = 1 + 0,005 \cdot \left(\frac{41,51^2 - 40^2}{30^2} \right) = 1,000684$$

$$F_{1,Ed} = 1,000684 \cdot 197,9 = 198,04 \text{ kN}$$

Únosnost T-průřezu v tahu:

$$M_c = 2 \cdot F_{t1,Ed} \cdot e_c \cdot \frac{1}{8} = 2 \cdot 198,04 \cdot 0,159 \cdot \frac{1}{8} = 7,872 \text{ kNm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_c \cdot \gamma_{M0}}{f_y \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 7,872 \cdot 1,0}{235000 \cdot 0,15}} = 0,036 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 36 \text{ mm} < t_p = 40 \text{ mm} \text{ - Vyhovuje}$$

Únosnost šroubů v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800000 \cdot 561 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 323,14 \text{ kN} \geq F_{t,1Ed}$$

$$323,14 > 197,9 \text{ kN} \text{ -Vyhovuje}$$

Únosnost v protlačení hlavy šroubu:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 0,04955 \cdot 0,040 \cdot \frac{360000}{1,25} = 1344 \text{ kN}$$

$$1344 \text{ kN} > F_{t,1Ed} = 197,9 \text{ kN} \text{ - Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{75}{33} - 1,7 = 4,66 \Rightarrow 2,5 \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 33} = 0,757 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{100}{3 \cdot 33} - \frac{1}{4} = 0,76 \end{array} \right. \Rightarrow 0,757$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,757 \cdot 360000 \cdot 0,03 \cdot 0,04}{1,25} = 654,1 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 654,1 \text{ kN} \geq \frac{M_{Ed}}{8} = \frac{183,43}{8} = 22,93 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost čelní desky:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(40 \cdot 200 - 4 \cdot 30 \cdot 40) \cdot 235}{1,0} = 752 \text{ kN}$$

$$752 \text{ kN} > V_{Ed} = 684 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru:

Návrh svaru: $a_w = 6 \text{ mm}$

$$\sigma_{\perp,2} = \tau_{\perp,2} = \frac{M_{Ed} \cdot z_2}{I_w \cdot \sqrt{2}} = \frac{183,43 \cdot 0,2104}{1,702 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{2}} = 160,34 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp,2}^2 + 3 \cdot (\tau_{II,2}^2 + \tau_{\perp,2}^2)} = \sqrt{160,34^2 + 3 \cdot (0^2 + 160,34^2)} = 226,76 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 226,76 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \leq \sigma_{\perp} = 160,34 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Napjatost ve svarech na pásnici:

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed} \cdot z_2}{I_w \cdot \sqrt{2}} = \frac{183,43 \cdot 0,225}{1,702 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{2}} = 171,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp,2}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp,2}^2} = \sqrt{171,5^2 + 3 \cdot 171,5^2} = 343 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \geq 343 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 171,5 \text{ Mpa} - \text{Svar vyhoví}$$

Únosnost T-průřezu na polygonu v tahu:

$$M_c = 2 \cdot F_{t1,Ed} \cdot e_c \cdot \frac{1}{8} = 2 \cdot 198,04 \cdot 0,1 \cdot \frac{1}{8} = 4,951 \text{ kNm}$$

$$b = 85 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_c \cdot \gamma_{M0}}{f_y \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 4,951 \cdot 1,0}{235000 \cdot 0,085}} = 0,039 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 39 \text{ mm} < t_p = 40 \text{ mm} - \text{Vyhovuje}$$

9.2.2. Posouzení přípoje stožáru k vyhlídce

Vnitřní síly ve spoji:

$$N_{Ed,max} = 134,51 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = 4,20 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu stožáru na střih:

Šroub: M16

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 157 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 60,29 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 4,20 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení šroubu stožáru:

Návrh plechu: P15 – $\phi 169$, ocel 235

Otláčení plechu a polygonu:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{58,5}{33} - 1,7 = 3,264 \end{array} \right. \Rightarrow 2,5$$

$$\alpha_b = \min \begin{cases} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{85}{3 \cdot 18} = 1,0833 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{85}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,324 \end{cases} \Rightarrow 1,324$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,324 \cdot 360000 \cdot 0,016 \cdot 0,015}{1,25} = 229 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 4,20 \text{ kN} \leq F_{b,Rd}$$

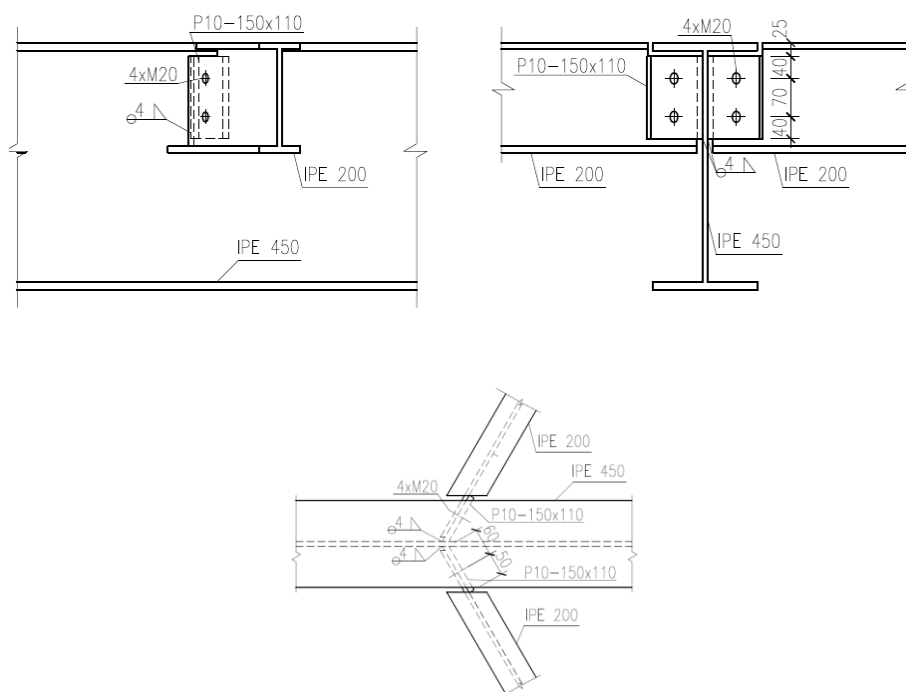
4,20 kN < 229 kN – **Vyhovuje**

Únosnost v protlačení hlavy šroubu stožáru:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 0,02585 \cdot 0,015 \cdot \frac{360000}{1,25} = 210,5 \text{ kN}$$

210,5 kN > $N_{Ed} = 134,51 \text{ kN}$ - **Vyhovuje**

9.3. Přípoj stropnice k průvlaku



Obr. 9.5: Detail přípoje stropnice na průvlak

Vnitřní síly od stropnice:

$$N_{Ed} = 56,83 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 30,26 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M20, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubech:

$$F_v = \frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{30,26}{2} = 15,13 \text{ kN}$$

$$F_h = \frac{N_{Ed}}{2} + V_{z,Ed} \cdot \frac{e}{p} = \frac{56,83}{2} + 30,26 \cdot \frac{60}{70} = 54,25 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{15,13^2 + 54,25^2} = 56,32 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 245 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 94,08 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: P10 – 150x110, ocel 235

Otláčení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{22} - 1,7 = 3,39 \Rightarrow 2,5 \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,606 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,81 \end{array} \right. \Rightarrow 0,606$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 360000 \cdot 0,02 \cdot 0,01}{1,25} = 109 \text{ kN}$$

Otláčení na stojině:

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = 0,606$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,060 \cdot 360000 \cdot 0,02 \cdot 0,0085}{1,25} = 74,17 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 56,32 \leq \min(74,17; 109)$$

$$56,32 \text{ kN} < 74,17 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru:

Návrh svaru: 4 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{30,26 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,15} = 25,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{56,83 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 2 \cdot 0,15} + \frac{30,26 \cdot 10^{-3} \cdot 0,06}{2 \cdot \frac{0,005 \cdot 0,15^2}{6}} = 107,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 107,87 = 76,28 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{76,28^2 + 3 \cdot (25,22^2 + 76,28^2)} = 158,69 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 158,69 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 76,28 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů z nosníku při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 8,5 \cdot \left(50 - \frac{22}{2}\right) = 331,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 8,5 \cdot (40 + 70 - 1,5 \cdot 22) = 654,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 331,5 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 654,5 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 194,88 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

$$194,88 \geq 30,26 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

Síly ve šroubu:

$$F_v = 70,97 \text{ kN}$$

$$F_h = 85,26 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{70,97^2 + 85,26^2} = 110,93 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 353 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 271,1 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: konzola: 2xP10 – 135x120, ocel 235

sloup: P20 – 135x120, ocel 235

Otláčení plechu na konzole i na sloupu:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{60}{26} - 1,7 = 4,76 \end{array} \right. \Rightarrow 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1,0}{\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360}} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 26} = 0,769 \end{array} \right. \Rightarrow 0,769$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,769 \cdot 360000 \cdot 0,024 \cdot 0,02}{1,25} = 265,77 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 110,93 \text{ kN} \leq 265,77 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800000 \cdot 353 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 203,328 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 99,53 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 203,328 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Kombinace stříhu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{110,93}{265,77} + \frac{99,53}{1,4 \cdot 203,328} = 0,767 \leq 1,0$$

Únosnost koutového svaru na plechu podpěry:

Návrh svaru: 6 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{70,97 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,006 \cdot 0,12} = 24,64 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{85,26 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,006 \cdot 2 \cdot 0,12} + \frac{70,97 \cdot 10^{-3} \cdot 0,075}{4 \cdot \frac{0,006 \cdot 0,12^2}{6}} = 122,013 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 122,013 = 86,27 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{86,27^2 + 3 \cdot (24,64^2 + 86,27^2)} = 177,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 177,75 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 86,27 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Únosnost koutového svaru na sloupu:

Návrh svaru: 10 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{70,97 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,01 \cdot 0,12} = 29,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{85,26 \cdot 10^{-3}}{0,01 \cdot 2 \cdot 0,12} + \frac{70,97 \cdot 10^{-3} \cdot 0,075}{2 \cdot \frac{0,01 \cdot 0,12^2}{6}} = 146,416 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 146,416 = 103,53 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{103,53^2 + 3 \cdot (29,57^2 + 103,53^2)} = 213,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 213,3 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 103,53 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 20 \cdot \left(60 - \frac{26}{2}\right) = 940 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 - 0,5 \cdot d_0) = 20 \cdot (60 - 0,5 \cdot 26) = 940 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 940 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 940 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 428,34 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

428,34 ≥ 70,97 kN – **Vyhovuje**

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 20 \cdot \left(60 - \frac{26}{2}\right) = 940 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 - 0,5 \cdot d_0) = 20 \cdot (60 - 0,5 \cdot 26) = 940 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 940 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 940 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 428,34 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

428,34 ≥ 70,97 kN – **Vyhovuje**

Únosnost koutového svaru na podpěře:

Návrh svaru: 4 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{70,97 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 0,194 \cdot \pi} = 29,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{svaru}} = \frac{85,26 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 0,194 \cdot \pi} + \frac{70,97 \cdot 10^{-3} \cdot 0,075}{9,239 \cdot 10^{-5}} = 34,97 + 57,61 = 92,582 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 92,582 = 65,47 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{65,47^2 + 3 \cdot (29,11^2 + 65,47^2)} = 140,32 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 140,32 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 65,47 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Posouzení kruhové trubky na porušení povrchu:

$$N_{i,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot \frac{1+0,25 \cdot \eta}{\gamma_{M5}}$$

$$n_p = \frac{\frac{140,32}{235}}{1,0} = 0,597$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot 0,597 \cdot (1 + 0,597) = 0,714$$

$$\eta = \frac{h_p}{d} = \frac{120}{273} = 0,439$$

$$N_{i,Rd} = 5 \cdot 0,714 \cdot 235 \cdot 20^2 \cdot \frac{1+0,25 \cdot 0,493}{1,0} = 376,94 \text{ kN} \geq F_h = 85,26 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

9.4.2. Posouzení přípoje rozpěry mezi sloupy

Vnitřní síly v přípoji:

$$N_{Ed} = 312,44 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: 1xM30, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubu:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 561 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 430,848 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 312,44 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: konzola: 2xP10 – 150x140, ocel 235

sloup: P20 – 150x140, ocel 235

Otláčení plechu na konzole i na sloupu:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{60}{26} - 1,7 = 4,76 \end{array} \right. \Rightarrow 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{70}{3 \cdot 33} = 0,707 \end{array} \right. \Rightarrow 0,707$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,707 \cdot 360000 \cdot 0,030 \cdot 0,02}{1,25} = 318,15 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 312,44 \text{ kN} \leq 318,15 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru na rozpěře:

Návrh svaru: 4 mm

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{312,44 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,006 \cdot 2 \cdot 0,14} = 139,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 139,48 = 98,63 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{98,63^2 + 3 \cdot (0^2 + 98,63^2)} = 197,26 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 197,26 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 98,63 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Únosnost koutového svaru na sloupu:

Návrh svaru: 7 mm

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{312,44 \cdot 10^{-3}}{0,007 \cdot 2 \cdot 0,14} = 159,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 159,41 = 112,72 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{112,72^2 + 3 \cdot (0^2 + 112,72^2)} = 225,44 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 225,44 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 112,72 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Únosnost koutového svaru spojujícího plech a rozpěru:

Návrh svaru: 4 mm

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{a_w \cdot L} = \frac{312,44 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 0,168 \cdot \pi} = 147,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 147,99 = 104,65 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{104,65^2 + 3 \cdot (0^2 + 104,65^2)} = 209,3 \text{ MPa}$$

Únosnost táhla, čepu a spojky v tahu:

$$N_{t,Rd} = 510 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 493,57 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení plechu:

Návrh plechu: P35 – 656x150, ocel 355

Otláčení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{71}{43,5} - 1,7 = 2,87 \Rightarrow 2,5 \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{510} = 1,57 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{71}{3 \cdot 43,5} = 0,544 \end{array} \right. \Rightarrow 0,544$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,544 \cdot 510000 \cdot 0,0435 \cdot 0,035}{1,25} = 844,81 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 493,57 \text{ kN} \leq 844,81 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru na sloupu:

Návrh svaru: 8 mm

$$N_{Ed} = N_{Ed,rozpěra} + N_{táhla} \cdot \cos 40^\circ = 91,14 + 2 \cdot 493,57 \cdot \cos 40^\circ = 847,33 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = N_{táhla} \cdot \sin 40^\circ = 2 \cdot 493,57 \cdot \sin 40^\circ = 634,52 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{634,52 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,006 \cdot 0,656} = 29,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a \cdot l^2}{6}} = \frac{847,33 \cdot 10^{-3}}{0,006 \cdot 2 \cdot 0,656} + \frac{634,52 \cdot 10^{-3} \cdot 0,079}{2 \cdot \frac{0,006 \cdot 0,656^2}{6}} = 124,41 \text{ MPa}$$

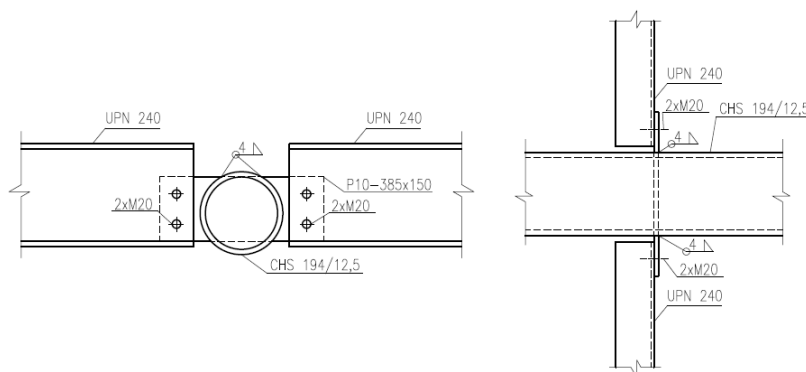
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 124,41 = 87,97 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{87,97^2 + 3 \cdot (29,57^2 + 87,97^2)} = 204,74 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 204,74 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 87,97 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

9.5. Přípoj schodnice na podpěru



Obr. 9.8: Detail přípoje schodnice na podpěru

Vnitřní síly od schodnice:

$$N_{Ed} = 61,42 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 31,63 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 14,72 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M20, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubech:

$$F_v = \frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{31,63}{2} = 15,82 \text{ kN}$$

$$F_h = \frac{N_{Ed}}{2} + V_{z,Ed} \cdot \frac{e}{p} = \frac{61,42}{2} + 31,63 \cdot \frac{55}{70} = 55,56 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{15,82^2 + 55,56^2} = 57,77 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 245 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 94,08 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 800000 \cdot 245 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 282,44 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 14,72 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 282,44 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{57,77}{94,08} + \frac{14,72}{1,4 \cdot 282,44} = 0,651 \leq 1,0 - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: P10 – 385x150, ocel 235

Otláčení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{22} - 1,7 = 3,39 \end{array} \right. \Rightarrow 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,606 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,81 \end{array} \right. \Rightarrow 0,606$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 360000 \cdot 0,02 \cdot 0,01}{1,25} = 109 \text{ kN}$$

Otláčení na stojině:

$$k_1 = 2,5$$

$$\alpha_b = 0,606$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_w}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 360000 \cdot 0,02 \cdot 0,007}{1,25} = 61,085 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 57,77 \text{ kN} \leq \min(61,085; 109)$$

$$57,77 \text{ kN} < 61,085 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru:

Návrh svaru: 4 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{31,63 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,169} = 25,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot W} = \frac{61,42 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 2 \cdot 0,169} + \frac{31,63 \cdot 10^{-3} \cdot 0,055}{2 \cdot 9,239 \cdot 10^{-5}} = 54,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 54,84 = 38,78 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{38,78^2 + 3 \cdot (25,22^2 + 38,78^2)} = 89,015 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 89,015 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 38,78 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů ze schodnice při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 7 \cdot \left(40 - \frac{22}{2}\right) = 203 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 7 \cdot (52,5 + 70 - 1,5 \cdot 22) = 626,5 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 203 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 626,5 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 149,96 \text{ kN} \geq V_{Ed,z}$$

149,96 ≥ 31,63 kN –Vyhovuje

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_p \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2}\right) = 10 \cdot \left(40 - \frac{22}{2}\right) = 290 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_p \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 10 \cdot (40 + 70 - 1,5 \cdot 22) = 770 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 290 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 770 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 197,27 \text{ kN} \geq V_{Ed}$$

197,27 ≥ 31,63 kN –Vyhovuje

9.6. Patka sloupu

Vnitřní síly

Kombinace : CO2

Podpora	Stav	R _x [kN]	R _y [kN]	R _z [kN]
Sn1/N85	CO2/2	-147,79	-280,79	-1174,86

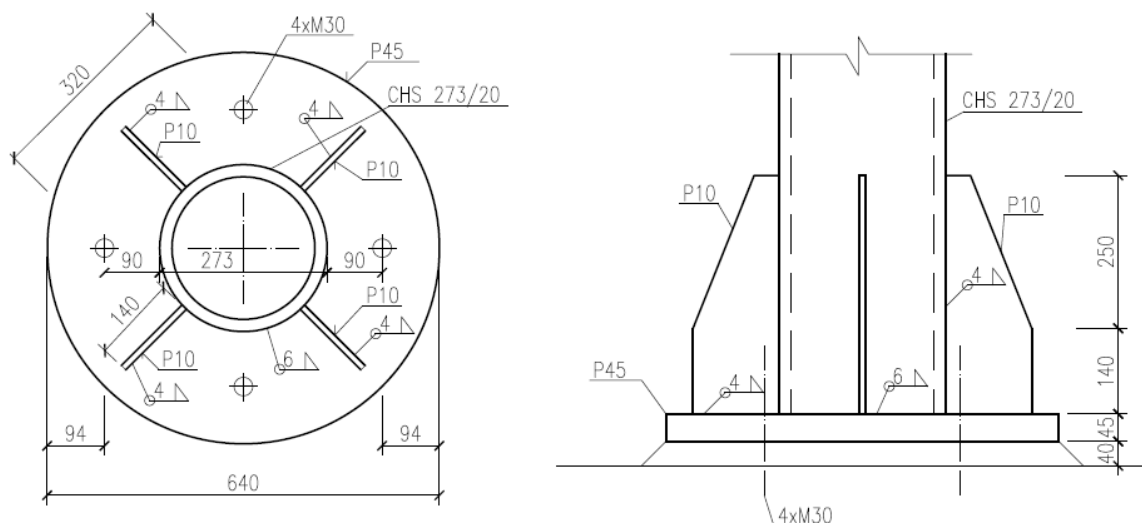
(max. posouvající a tahová síla)

Sn5/N103	CO2/3	6,03	-23,30	1468,54
----------	-------	------	--------	---------

(tlaková síla)

Obr. 9.9: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer -Patka sloupu

Návrh patky sloupu:



Obr. 9.10: Detail patky sloupu

Patka je navržena jako kloubová, centricky tlačená.

Výška podlití: $40 \text{ mm} < 0,2 \cdot 640 = 128 \text{ mm}$

– pevnost zálivky musí být větší než pevnost patky

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{\phi_{základu}^2}{\phi_{patky}^2}} = \sqrt{\frac{800^2}{640^2}} = 1,25$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_j = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,25 \cdot 16}{1,5} = 8,889 \text{ MPa}$$

Přesah desky:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j}} = 45 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 8,889}} = 133,58 \text{ mm}$$

Efektivní plocha patního plechu:

$$A_{eff} = \pi \cdot (270^2 - 3^2) = 228994 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost patky:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_j = 178221 \cdot 10^{-6} \cdot 8,889 \cdot 10^3 = 2035 \text{ kN} > 1468 \text{ kN}$$

-Průřez vyhoví

Návrh a posudek patní desky:

$$a_w = 6 \text{ mm}$$

$$m = 155 - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = 155 - 0,8 \cdot 6 \cdot \sqrt{2} = 151,1 \text{ mm}$$

$$e = 90 \text{ mm}$$

Návrh tloušťky kotevní desky:

$$L_{eff} \approx 2 \cdot m = 2 \cdot 151,1 = 301,51 \text{ mm}$$

$$F_{b,Ed} = \frac{N_{Ed,max}}{4} = \frac{1147,86}{4} = 286,965$$

Vzdálenost šroubů ve dvojici:

$$e_s = 320 \text{ mm}$$

$$M_c = 2 \cdot F_{b,Ed} \cdot e_s \cdot \frac{1}{8} = 2 \cdot 286,965 \cdot 0,32 \cdot \frac{1}{8} = 22,96 \text{ kNm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_c \cdot \gamma_{M0}}{f_y \cdot L_{eff}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 22,96 \cdot 1,0}{235 \cdot 301,51}} = 44,09 \text{ mm} - \text{návrh: patní plech } t_p = 45 \text{ mm}$$

Koutový svar přípoje patní desky a sloupu:

Navržen svar: $a = 6 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{a_w \cdot L} = \frac{23,3}{0,006 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,1365 + 0,004 \cdot 8 \cdot 0,14} = 2,42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{a_w \cdot L} = \frac{1468,54}{0,011 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,1365 + 0,004 \cdot 8 \cdot 0,14} = 152,88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 152,88 = 107,88 \text{ MPa}$$

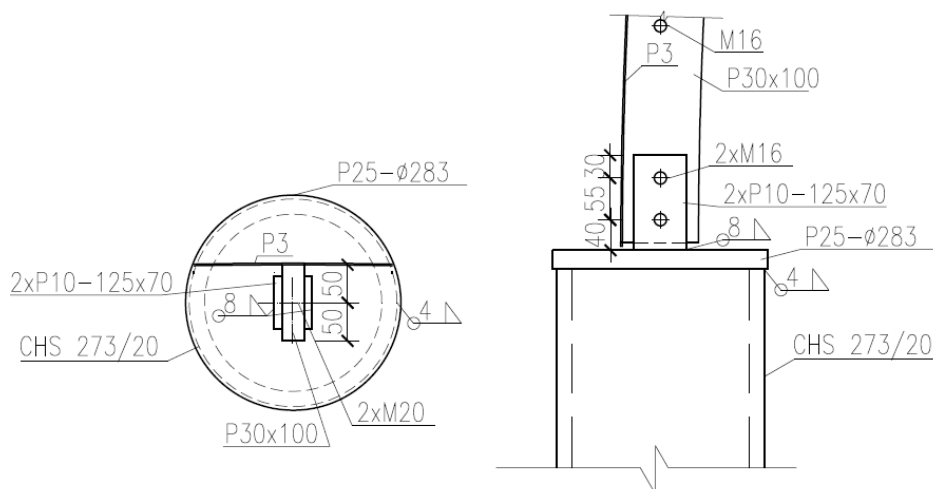
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{107,88^2 + 3 \cdot (2,42^2 + 107,88^2)} = 215,79 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 220,18 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Únosnost v protlačení hlavy šroubu:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 49,55 \cdot 45 \cdot \frac{340}{1,25} = 1143,21 \text{ kN} > F_{b,Ed} = 286,965 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

9.7. Přípoj skořepiny ke sloupu



Obr. 9.11: Detail přípoje skořepiny na sloup

Vnitřní síly v přípoji:

$$N_{Ed} = 82,31 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 16,8 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 16,14 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M16, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubech:

$$F_v = \frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{16,8}{2} = 8,4 \text{ kN}$$

$$F_h = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{82,31}{2} = 41,16 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{8,4^2 + 41,16^2} = 42,01 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 157 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 60,29 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 800000 \cdot 157 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 180,86 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 16,14 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 180,86 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{42,01}{60,29} + \frac{16,14}{1,4 \cdot 180,86} = 0,761 \leq 1,0 - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v otlačení:

Návrh plechu: P10 – 125x70, ocel 235

Otlačení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,96 \Rightarrow 2,5 \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,555 \end{array} \right. \Rightarrow 0,555$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,555 \cdot 360000 \cdot 0,016 \cdot 0,01}{1,25} = 63,94 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 42,01 \text{ kN} < 63,94 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru plechu:

Návrh svaru: 8 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{16,8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,008 \cdot 0,07} = 25,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a_w \cdot L^2}{6}} = \frac{82,31 \cdot 10^{-3}}{0,008 \cdot 2 \cdot 0,07} + \frac{16,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0675}{2 \cdot \frac{0,008 \cdot 0,07^2}{6}} = 160,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 160,28 = 113,33 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{113,33^2 + 3 \cdot (25,22^2 + 113,33^2)} = 228,15 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 228,15 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 113,33 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_p \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2} \right) = 10 \cdot \left(35 - \frac{18}{2} \right) = 260 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_p \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 10 \cdot (30 + 55 - 1,5 \cdot 18) = 630 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 260 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 630 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 168,68 \text{ kN} \geq N_{Ed}$$

$168,68 \geq 82,31 \text{ kN}$ –Vyhovuje

Únosnost koutového svaru na sloupu:

Návrh svaru: 4 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{16,8 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot \pi \cdot 0,273} = 2,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{82,31 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,273} = 11,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 11,99 = 8,48 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{8,48^2 + 3 \cdot (2,45^2 + 8,48^2)} = 17,48 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 17,48 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 8,48 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Únosnost T-průřezu v tahu:

$$M_c = N_{Ed} \cdot e_c \cdot \frac{1}{8} = 82,31 \cdot 0,233 \cdot \frac{1}{8} = 2,397 \text{ kNm}$$

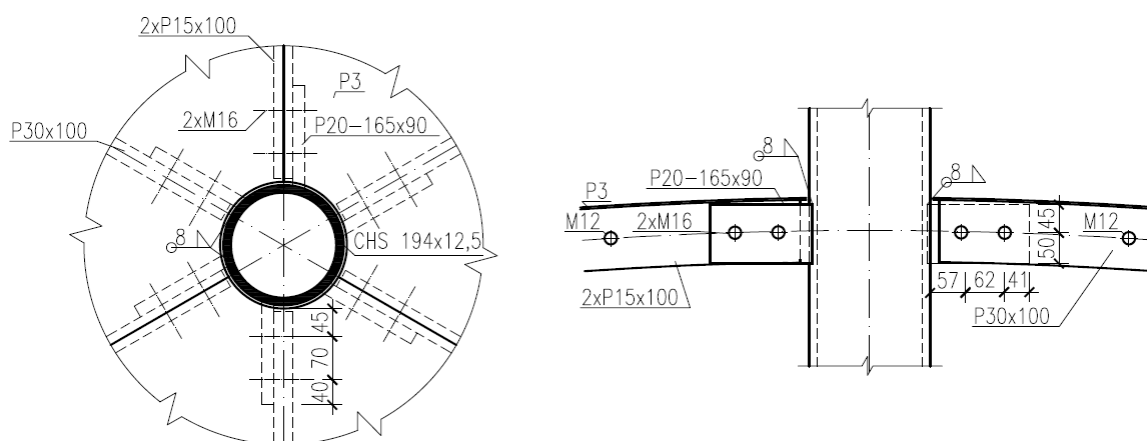
$$b = 101 \text{ mm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_c \cdot \gamma_{M0}}{f_y \cdot b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 2,397 \cdot 1,0}{235000 \cdot 0,101}} = 0,0246 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 24,6 \text{ mm} < t_p = 25 \text{ mm} - \text{Vyhovuje}$$

Vzhledem k široké výztuze a nesymetrii tohoto přípoje, navržen 2xP10 – 125x70. Není nutno znovu posuzovat.

9.8. Přípoj skořepiny ke stožáru



Obr. 9.12: Detail přípoje skořepiny ke stožáru

Vnitřní síly v přípoji:

$$N_{Ed} = 148,44 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 15,93 \text{ kN}$$

$$V_{y,Ed} = 1,35 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M20, ocel 8.8, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$

Síly ve šroubech:

$$F_v = \frac{V_{z,Ed}}{2} = \frac{15,93}{2} = 7,965 \text{ kN}$$

$$F_h = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{148,44}{2} = 74,22 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_h^2} = \sqrt{7,965^2 + 74,22^2} = 74,65 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 245 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 94,08 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: P20 – 165x95, ocel 235

Otláčení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{22} - 1,7 = 3,39 \Rightarrow 2,5 \right.$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0,606 \end{array} \right. \Rightarrow 0,606$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,606 \cdot 360000 \cdot 0,022 \cdot 0,02}{1,25} = 192 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 94,08 \text{ kN} < 192 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru plechu:

Návrh svaru: 8 mm

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} = \frac{15,93 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,07} = 10,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot L} + \frac{V_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{a_w \cdot L^2}{6}} = \frac{148,44 \cdot 10^{-3}}{0,008 \cdot 2 \cdot 0,095} + \frac{15,93 \cdot 10^{-3} \cdot 0,085}{2 \cdot \frac{0,008 \cdot 0,095^2}{6}} = 153,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sigma_w = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 153,92 = 108,84 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{108,84^2 + 3 \cdot (10,48^2 + 108,84^2)} = 218,43 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 218,43 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 108,84 \text{ MPa} - \text{Svar vyhoví}$$

Vytržení skupiny šroubů z plechu při namáhání ve smyku:

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = t_p \cdot \left(a_4 - \frac{d_0}{2} \right) = 20 \cdot \left(45 - \frac{22}{2} \right) = 680 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = t_p \cdot (a_1 + a_2 - 1,5 \cdot d_0) = 20 \cdot (40 + 70 - 1,5 \cdot 22) = 1540 \text{ mm}^2$$

$$V_{eff} = \frac{0,5 \cdot 800000 \cdot 680 \cdot 10^{-6}}{1,25} + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{235000 \cdot 1540 \cdot 10^{-6}}{1,0} = 427 \text{ kN} \geq N_{Ed}$$

$$427 \geq 148,44 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Posouzení kruhové trubky na porušení povrchu:

$$N_{i,Rd} = 5 \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot \frac{1+0,25 \cdot \eta}{\gamma_{M5}}$$

$$n_p = \frac{\frac{110}{235}}{1,0} = 0,468$$

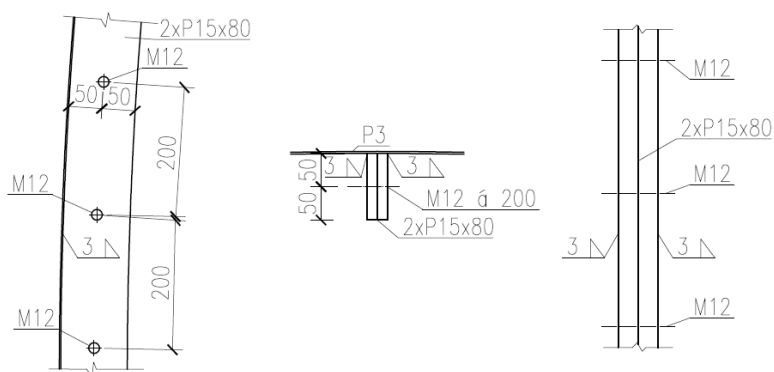
$$k_p = 1 - 0,3 \cdot 0,468 \cdot (1 + 0,468) = 0,794$$

$$\eta = \frac{h_p}{d} = \frac{140}{194} = 0,722$$

$$N_{i,Rd} = 5 \cdot 0,722 \cdot 235 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{1+0,25 \cdot 0,794}{1,0} = 158,86 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 148,44 \text{ kN}$$

- Vyhovuje

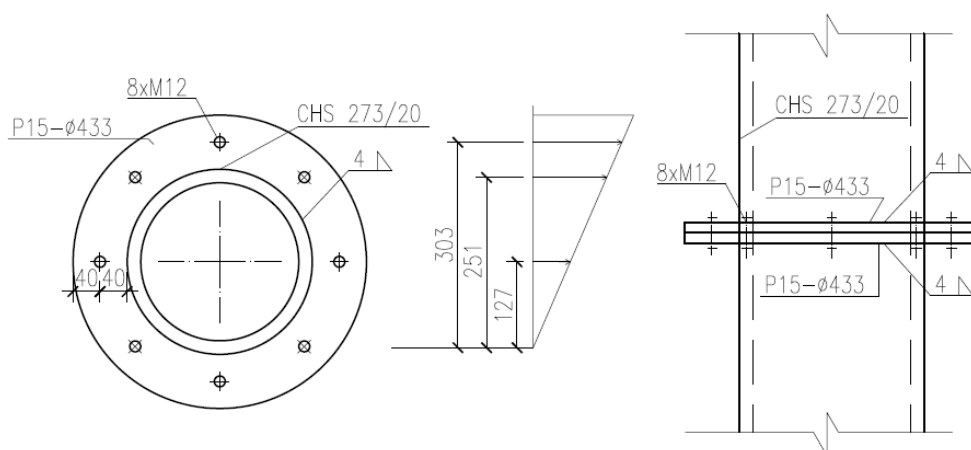
9.9. Montážní spoj skořepiny



Obr. 9.13: Detail spoje skořepiny

Navrženy šrouby M12 dle konstrukčních zásad ve vzdálenostech po 200 mm.

9.10. Montážní spoj sloupů



Obr. 9.14: Detail montážního spoje sloupů

Vnitřní síly v přípoji:

$$N_{Ed} = -1016,02 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 9,82 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed,max} = 23,12 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M 12, ocel 235

Určení momentů:

$$M_{Ed} = \sum F_{i,Ed} \cdot r_i = F_1 \cdot 0,303 + 2 \cdot F_2 \cdot 0,215 + 2 \cdot F_3 \cdot 0,038 = F_1 \cdot 0,303 + 2 \cdot F_1 \cdot \frac{0,215}{0,303} \cdot 0,215 + 2 \cdot F_1 \cdot \frac{0,038}{0,303} \cdot 0,038 = 0,618 \cdot F_1$$

$$M_{Ed} = 0,618 \cdot F_1 \Rightarrow F_{1,Ed} = \frac{M_{Ed}}{0,618} = \frac{23,12}{0,618} = 37,41 \text{ kN}$$

$$F_{2,Ed} = F_1 \frac{r_2}{r_1} = 37,41 \cdot \frac{0,215}{0,618} = 13,015 \text{ kN}$$

$$F_{3,Ed} = F_1 \frac{r_3}{r_1} = 37,41 \cdot \frac{0,038}{0,618} = 2,3 \text{ kN}$$

Únosnost šroubů v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800000 \cdot 84,3 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 48,56 \text{ kN} \geq F_{1,Ed}$$

48,56 > 37,41 kN –Vyhovuje

Únosnost T-průřezu v tahu:

Účinná šířka náhradního T-průřezu:

$$L_{eff} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 40 = 251 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 40 + 1,25 \cdot 40 = 210 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{r}{6} = \frac{\pi \cdot 273}{6} = 142,9 \text{ mm} - \text{uvažujeme}$$

$$M_{T,pl,Rd} = \frac{L_{eff} \cdot t_p^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{142,9 \cdot 15^2}{4} \cdot 235 = 1,889 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost T-průřezu v tahu pro jeden šroub:

$$F_{cf1,Rd} = \frac{2}{m} \cdot M_{T,pl,Rd} = \frac{2}{40} \cdot 1,889 \cdot 10^6 = 94,45 \text{ kN}$$

$$F_{cf2,Rd} = \frac{M_{T,pl,Rd} + n \cdot F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{1,889 \cdot 10^6 + 40 \cdot 48,56 \cdot 10^3}{80} = 47,893 \text{ kN}$$

$$F_{cf3,Rd} = F_{t,Rd} = 48,56 \text{ kN}$$

Porušení desky:

$$4 \cdot F_{cf,Rd} = 4 \cdot 47,893 = 191,572 \text{ kN} \geq F_{t1,Ed} = 37,41 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Ohybový moment musí vyhovovat podmínce:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{j,Rd} = 0,618 \cdot F_{t,Rd} = 0,618 \cdot 48,56 = 30,01 \text{ kNm}$$

$$\frac{23,12}{30,01} = 0,77 \leq 1,0 - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost v protlačení hlavy šroubu:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 0,02045 \cdot 0,015 \cdot \frac{360000}{1,25} = 166,52 \text{ kN}$$

$$166,52 \text{ kN} > F_{t,1Ed} = 37,41 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

Únosnost koutového svaru:

Návrh svaru: $a_w = 4 \text{ mm}$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{a_w \cdot \pi \cdot r} = \frac{14,18 \cdot 10^{-3}}{0,004 \cdot \pi \cdot 0,1365} = 8,267 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W_{svaru}} = \frac{23,12 \cdot 10^{-3}}{1,808 \cdot 10^{-4}} = 127,88 \text{ MPa}$$

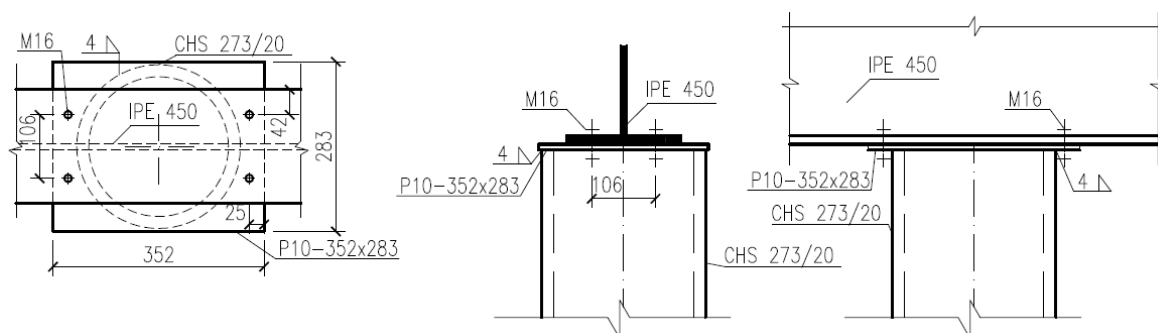
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{127,88}{\sqrt{2}} = 90,43 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{II}^2 + \tau_{\perp}^2)} = \sqrt{90,43^2 + 3 \cdot (8,267^2 + 90,43^2)} = 181,43 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{235}{0,8 \cdot 1,25} = 235 \text{ MPa} \geq 181,43 \text{ MPa} - \textbf{Svar vyhoví}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188 \text{ MPa} \leq \sigma_{\perp} = 127,88 \text{ MPa} - \textbf{Svar vyhoví}$$

9.11. Přípoj průvlaku k vnitřnímu sloupu



Obr. 9.15: Detail přípoje průvlaku k vnitřnímu sloupu

Vnitřní síly v přípoji:

$$N_{Ed} = -96,67 \text{ kN (tlak)}$$

$$V_{y,Ed} = -7,87 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -6,07 \text{ kN}$$

Návrh šroubů: M 16, ocel 235

Únosnost ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 157 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 60,29 \text{ kN} \geq \frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{7,87}{4} = 1,97 \text{ kN} - \text{Vyhovuje}$$

Únosnost v otláčení:

Návrh plechu: P10 – 352x283, ocel 235

Otláčení plechu:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{25}{18} - 1,7 = 2,19 \end{array} \right. \Rightarrow 2,19$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{25}{3 \cdot 18} = 0,463 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{106}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,71 \end{array} \right. \Rightarrow 0,463$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,19 \cdot 0,463 \cdot 360000 \cdot 0,016 \cdot 0,01}{1,25} = 46,72 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{4} = \frac{7,87}{4} = 1,97 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 46,72 \text{ kN} - \textbf{Vyhovuje}$$

10. Předběžný návrh souvisejících konstrukcí

10.1. Kotvení sloupů do základů

Kotvení sloupu je navrženo pomocí táhel zabetonovaných do základové konstrukce.

Maximální síla, kterou musí kotvení přenést: $N_{\max} = 831 \text{ kN}$

$$V_{\max} = 58,85 \text{ kN}$$

Návrh kotvení: 4 x ϕ 30 mm, táhlo 8.8, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $A_s = 561 \text{ mm}^2$, beton C16/20

Posouzení ve střihu:

$$\frac{V_{ED}}{2 \cdot F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

Únosnost táhla ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800000 \cdot 0,000561}{1,25} = 215,421 \text{ kN}$$

$$\frac{58,85}{4 \cdot 215,421} = 0,068 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Posouzení únosnosti v tahu:

$$\frac{N_{Ed}}{4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Únosnost táhla v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800000 \cdot 0,000561}{1,25} = 323,136 \text{ kN}$$

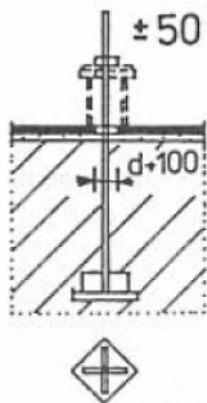
$$\frac{831}{4 \cdot 323,136} = 0,643 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Kombinace střihu a tahu:

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{N_{Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{52,16}{4 \cdot 215,421} + \frac{831}{1,4 \cdot 4 \cdot 323,136} = 0,061 + 0,459 = 0,52 \leq 1,0 - \text{Průřez vyhoví}$$

Posouzení na vytržení táhla ze základu:



Obr. 10.1: Kotvení patky sloupu

Únosnost v otláčení betonu:

$$f_{od} = \frac{f_{ok}}{\gamma_c} = \frac{24}{1,5} = 16 \text{ MPa}$$

Únosnost betonu v tahu a soudržnosti:

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} = \frac{1,9}{1,5} = 1,27 \text{ MPa}$$

Plocha kotevní hlavy:

$$A_{kot.hlava} = 0,8 \cdot A_s \cdot \frac{0,8 \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot f_{od}} + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot 561 \cdot \frac{0,8 \cdot 235}{1,0 \cdot 16} + \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 5980 \text{ mm}^2$$

Účinná hloubka zabetonování:

$$\Delta h = \left(\frac{4 \cdot A_{kot.hlava}}{\pi \cdot d^2} - 1 \right) \cdot \frac{f_{od}}{4 \cdot f_{td}} \cdot d = \left(\frac{4 \cdot 5980}{\pi \cdot 30^2} - 1 \right) \cdot \frac{16}{4 \cdot 1,27} \cdot 30 = 705 \text{ mm}$$

Minimální hloubka zabetonování:

$$h \geq \frac{0,2 \cdot N_{t,max}}{\pi \cdot d \cdot f_{td}} = \frac{0,2 \cdot 277}{\pi \cdot 0,03 \cdot 1270} = 0,462 \text{ m} = 462 \text{ mm} \leq \Delta h = 705 \text{ mm} - \text{Průřez vyhoví}$$

Navrhují: **h = 500 mm**

10.2. Základová konstrukce

Základy rozhledny budou tvořeny pilotami pod jednotlivými sloupy.

Předpoklad zeminy:

Štěrkopísek $f_{si} = 45 \text{ kPa}$, $R_{tab} = 650 \text{ kPa}$

10.2.1. Pilotový základ vnějších sloupů

Maximální síla působící na vnější pilotu:

$$N_{Ed,max} = 1425 \text{ kN}$$

Návrh piloty:

Průměr 800 mm, délky 7 m

Předpoklad zeminy:

Štěrkopísek $f_{si} = 45 \text{ kPa}$, $R_{tab} = 650 \text{ kPa}$

Únosnost piloty:

$$U_{vd} = U_{bd} + U_{fd}$$

$$U_{bd} = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3} \cdot A \cdot R_{tab}$$

$$U_{fd} = \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f4} \cdot u \cdot \sum f_{si} \cdot h_i$$

Kde: U_{vd} – svislá výpočtová únosnost

U_{bd} – napětí na patě

U_{fd} – napětí na plášti

u – obvod piloty

f_s – tření na plášti

$$U_{bd} = 1,2 \cdot 1,15 \cdot 0,4^2 \cdot \pi \cdot 650 = 450 \text{ kN}$$

$$U_{fd} = 1,2 \cdot 1,15 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot 7 \cdot 45 = 1092 \text{ kN}$$

$$U_{vd} = 450 + 1092 = 1542 \text{ kN} \leq 1425 \text{ kN} - \text{Průřez vyhoví}$$

10.2.2. Pilotový základ vnitřních sloupů

Maximální síla působící na vnější pilotu:

$$N_{Ed,max} = 441 \text{ kN}$$

Návrh piloty:

Průměr 700 mm, délky 5 m

Únosnost piloty

$$U_{bd} = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3} \cdot A \cdot R_{tab} = 1,2 \cdot 1,15 \cdot 0,35^2 \cdot \pi \cdot 650 = 345 \text{ kN}$$

$$U_{fd} = \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f4} \cdot u \cdot \sum f_{si} \cdot h_i = 1,2 \cdot 1,15 \cdot \pi \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 45 = 682 \text{ kN}$$

$$U_{vd} = 345 + 682 = 1027 \text{ kN} \leq 441 \text{ kN} - \text{Průřez vyhoví}$$

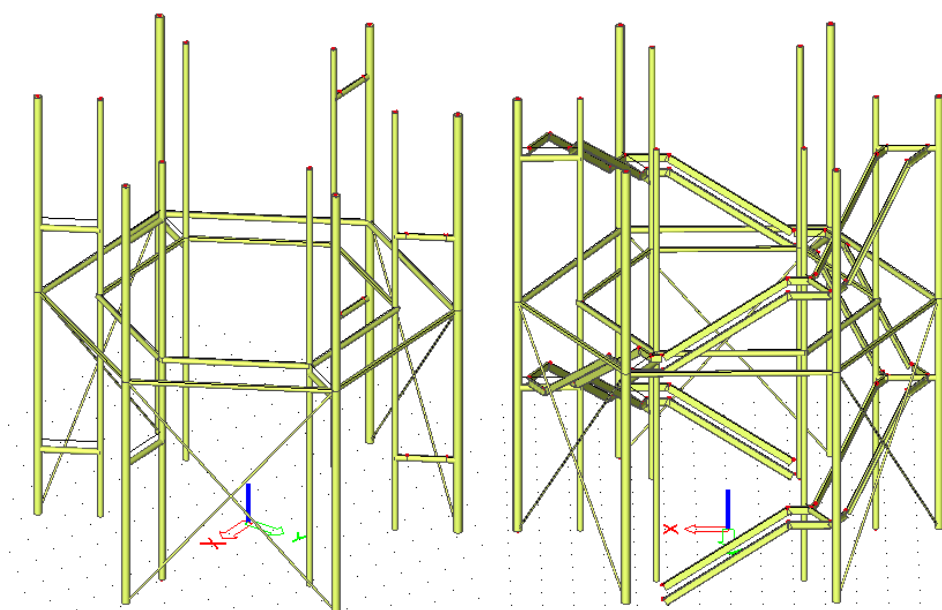
11. Základní postup montáže navržené konstrukce

Před montáží ocelové konstrukce musí být provedeny základové konstrukce a připraveno kotvení sloupů, které bude provedeno společně s betonováním základové konstrukce.

Samotnou montáž ocelové rozhledny můžeme rozdělit do několika etap:

Montáž první části schodiště:

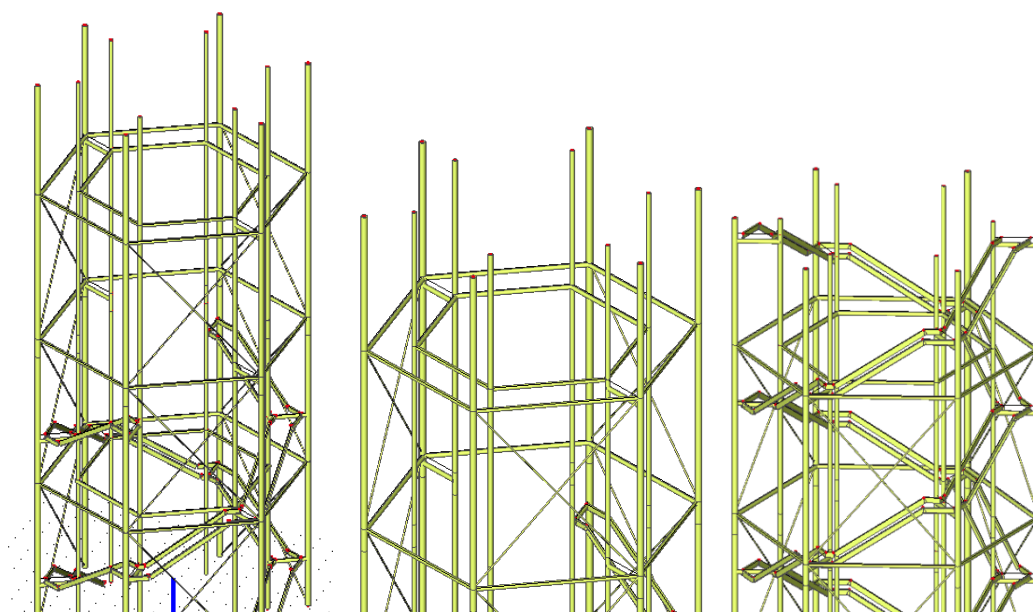
Provede se osazení vnitřních sloupů z profilu CHS 196x16 a vnějších sloupů z profilů CHS 273x20, které jsou dlouhé 15 m a ukotví se do základové konstrukce pomocí připravených šroubů. Poté se přišroubují vodorovné podpěry schodiště CHS 194x12,5 ve výškách 2,54 m, 5,2 m a 7,86 m. Následně se provede osazení vodorovných rozpěr vnějších a vnitřních z profilu CHS 168x12,5 ve výšce 7,98 m a pouze vnějších ve výšce 15,96 m. Do třech stran šestiúhelníku se vypnou táhla Macalloy M42 do výšky 7,98 m. Konstrukce schodiště skládající se ze schodnic UPE 240, profilů Le 60x40x5 a Lu 40x40x5 bude připravena z výroby v celých kusech v rámci jednoho ramene schodiště. Na stavbě se k ní připevní fošny z rostlého dřeva, ocelová konstrukce pro připevnění skla a prvky zábradlí na šikmé části schodiště. Jako první se osadí nástupní ramena schodišť a poté druhé až páté rameno. Poté se doplní zbývající části dřevěných podlah, konstrukce na připevnění skla a prvky zábradlí.



Obr. 11.1: Postup montáže první části schodiště

Montáž druhé části schodiště:

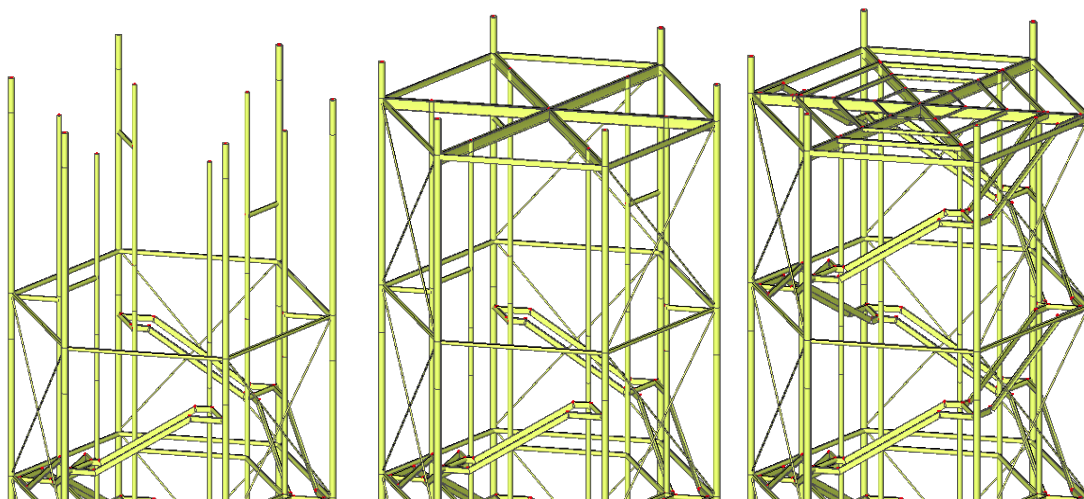
V druhé části se montáž téměř opakuje. Osadí se sloupy, podpěry, vnější rozpěry a táhla od 7,86 m do 15,84 m a od 15,84 do 23,82 m. Ještě se osadí vnitřní rozpěra ve výšce 23,82 m. Následně se osadí šesté až jedenácté rameno schodiště a doplní se zbývající části dřevěných podlah, konstrukce na připevnění skla a prvky zábradlí.



Obr. 11.2: Montáž druhé části schodiště

Montáž třetí části a vyhlídky:

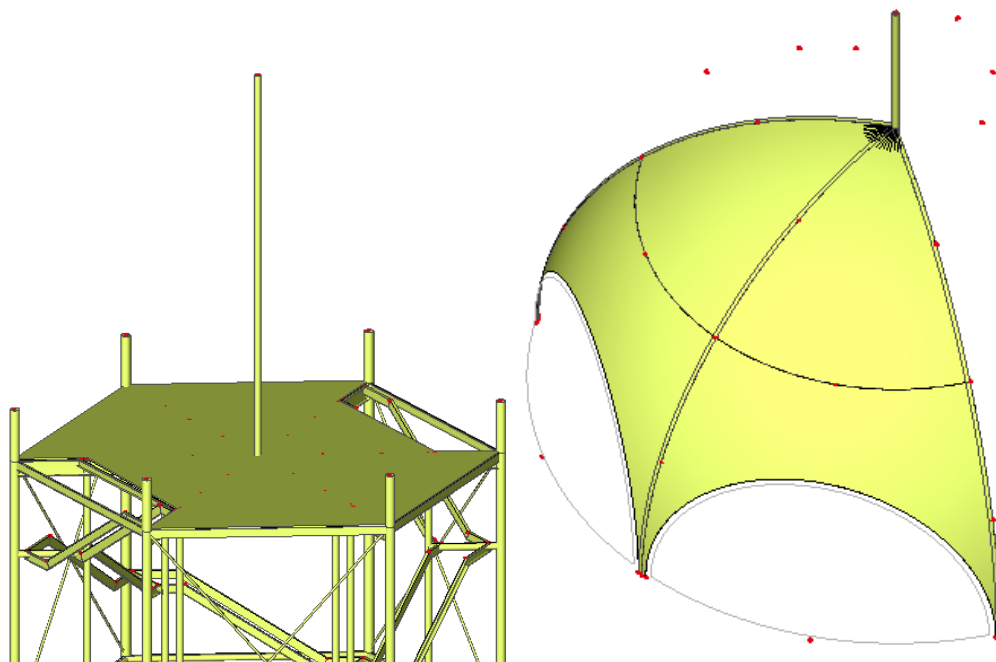
V třetí části se osadí poslední řada sloupů. Vnější do výšky 41,4 m a vnitřní do výšky 39,41 m. Osadí se podpěry, vnější rozpěry a zbývající táhla. Na zemi se šroubují průvlaky vyhlídky z profilů IPE 450 do jednoho bloku a připevní se k vnějším a vnitřním sloupům ve výšce 39,635 m. Sloupy vnitřní tyto průvlaky podepírají. Ve výšce 39,74 m se připevní vnější obvod vyhlídky z profilů UPN240 ke sloupům. Osadí se dvanácté zbylá ramena schodišť. K průvlakům vyhlídky se připevní stropnice z profilů IPE200, IPE 160 a IPE 80. Osadí se zbylé prvky zábradlí, konstrukce pro skla a doplní se fošny z rostlého dřeva na schodištích. Na vyhlídce se osadí podlaha z fošen z rostlého dřeva tl. 40 mm.

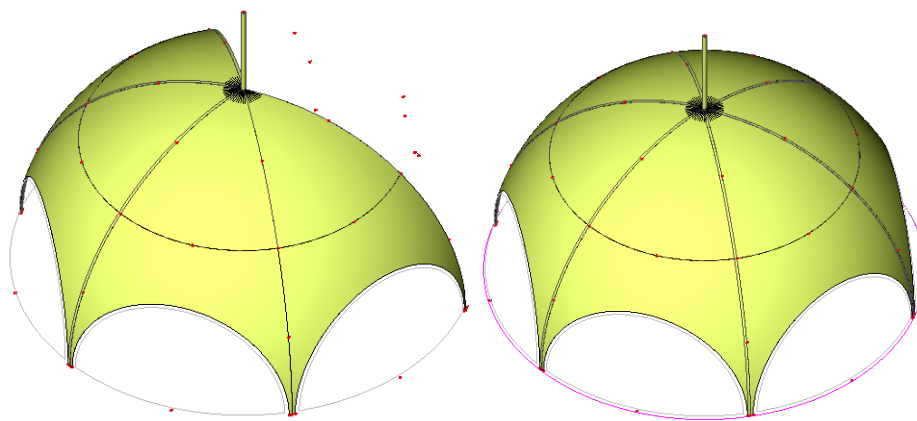


Obr. 11.3: Montáž třetí části schodiště a vyhlídky

Montáž zastřešení a stožáru:

Ve čtvrté části se osadí ve středu vyhlídky stožár z profilu CHS 194x12,5. Poté se vyzvednou jednotlivé segmenty střešního vrchlíku z plechu P3, které se osadí na sloupy, připevní ke stožáru a provede se spojení jednotlivých segmentů ve výztuhách. Následně se osadí zábradlí na vyhlídce a rámy pro držení skla. V závěru bude provedeno připojení elektrických rozvodů a osvětlení rozhledny. Jako závěrečná fáze výstavby budou osazeny veškeré skleněné plochy rozhledny.





Obr. 11.4: Montáž zastřešení a stožáru

Montáž zázemí rozhledny:

Po dokončení rozhledny bude vybudováno zázemí. Budou osazeny prvky ocelové konstrukce zázemí a to sloupy, stropnice, zavětrování a výztužné prvky. Následně budou osazeny PUR panely a provedeno osazení veškerých oken a dveří.

12. Závěr

Úkolem diplomové práce bylo navrhnout a následně staticky posoudit ocelové schodiště s vyhlídkou, které má být postaveno okolo zděného pylonu u hvězdárny a planetária Johana Palisy v Ostravě. Požadavek na vypracování této práce mi zadal vedoucí planetária RNDr. Tomáš Gráf, Ph.D.

V úvodní části jsem vypracoval několik variant řešení této rozhledny. Rozdíl v jednotlivých variantách byl zejména ve tvaru zastřešení a použitém materiálu. Tyto návrhy jsem předal vedoucímu planetária a on společně s kolegy vybrali výslednou variantu, kterou jsem dále podrobněji navrhl.

Architektonický návrh konstrukce se odvíjel především od stávajícího zděného pylonu. Snažil jsem se vytvořit konstrukci vzhledově kopírující tento tvar. Parametry výsledného návrhu konstrukce a vzhled jsou popsány v architektonickém návrhu a následně v technické zprávě.

Nejrozsáhlejší částí práce je návrh a statické posouzení konstrukce. Základem této části je předběžný návrh jednotlivých konstrukcí. Následně jsem zpracoval možné zatížení konstrukce a vnitřní síly v jednotlivých prvcích. Každému prvku byl přiřazen nejhorší zatěžovací stav, maximální vnitřní síly, navržen prvek a posouzen na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Také zde jsou řešeny posudky hlavních jednotlivých přípojů. Tento posudek prokazuje reálnost navrženého řešení.

V závěru jsem provedl základní popis montáže konstrukce, který prokazuje proveditelnost výsledného návrhu a je možné jej využít pro řízení výstavby.

Doufám, že tato práce bude nápomocná pro získání dostatečného množství peněz a přispěje k rozhodnutí na vybudování této rozhledny.

13. Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1):
Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, Praha, ČNI, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1):
Zatížení konstrukcí – Zatížení sněhem, Praha, ČNI, 2005
- [3] ČSN EN 1991-1-4 (Eurokód 1):
Zatížení konstrukcí – Zatížení větrem, Praha, ČNI, 2007
- [4] ČSN EN 1990 (Eurokód):
Zásady navrhování konstrukcí, Praha, ČNI, 2004
- [5] ČSN EN 1993-1-1 (Eurokód 3):
Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, Praha, ČNI, 2006
- [6] ČSN EN 1993-1-8 (Eurokód 3):
Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků, Praha, ČNI, 2006
- [7] ČSN EN 1993-1-6 (Eurokód 3):
Navrhování ocelových konstrukcí – Pevnost a stabilita skořepinových konstrukcí, Praha, ČNI, 2008
- [8] ČSN 73 4130
Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky, Praha, ČNI, 2010
- [9] ČSN 74 3305
Ochranná zábradlí, Praha, ČNI, 2008
- [10] SCIA Engineer:
Manuály

- [11] Webové stránky firmy TENSION <http://www.tension.cz>
- [12] Webové stránky katastrálního úřadu <http://www.cuzk.cz>
- [13] Webové stránky portálu seznam <http://www.seznam.cz>

14. Seznam obrázků

Obr. 2.1: Mapa umístění pozemku	10
Obr. 2.2: Pohled na pozemek.....	11
Obr. 3.1: Detail sloupů z IPE profilů.....	13
Obr. 3.2: Detail sloupů z kruhových trubek	13
Obr. 3.3: Stanová střecha.....	14
Obr. 3.4: Zastřešení kulovým vrchlíkem	15
Obr. 4.1: Průběh ohybových momentů na schodnici, Scia Engineer	19
Obr. 5.1: Schematický řez rozhlednou	22
Obr. 8.1: Tvarové součinitele zatížení sněhem pro válcovou střechu	33
Obr. 8.2: Průběh zatížení na kopuli	37
Obr. 8.3: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - STR1	43
Obr. 8.4: Hodnoty vnitřních sil z Scia Engineer – STR1	43
Obr. 8.5: Hodnoty relativních deformací – STR1	45
Obr. 8.6: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – STR2.....	46
Obr. 8.7: Hodnoty vnitřních sil z Scia Engineer – STR2	46
Obr. 8.8: Hodnoty relativních deformací – STR2	48
Obr. 8.9: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – STR3,4,5.....	48
Obr. 8.10: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – SCH1	49
Obr. 8.11: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SCH1	50
Obr. 8.12: Hodnoty relativních deformací – SCH1	52
Obr. 8.13: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – SLP1	52
Obr. 8.14: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SLP1	53
Obr. 8.15: Průběh vnitřních sil s maximálním ohybovým momentem – SLP1.....	53
Obr. 8.16: Hodnoty relativních deformací – SLP1.....	57
Obr. 8.17: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - SLP2.....	57
Obr. 8.18: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SLP2.....	58
Obr. 8.19: Průběh vnitřních sil s maximálním ohybovým momentem – SLP2.....	58
Obr. 8.20: Hodnoty relativních deformací – SLP2.....	62
Obr. 8.21: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - KON1	62
Obr. 8.22: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – KON1	63
Obr. 8.23: Průběh vnitřních sil s maximálním ohybovým momentem – KON1.....	63
Obr. 8.24: Hodnoty relativních deformací - KON1	64

Obr. 8.25: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - VZT1	65
Obr. 8.26: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer - VZT 1	65
Obr. 8.27: Hodnoty relativních deformací - VZT1	68
Obr. 8.28: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - THL1	69
Obr. 8.29: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer - THL 1	69
Obr. 8.30: Tabulka vlastností táhel Macalloy	69
Obr. 8.31: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer - STO1	70
Obr. 8.32: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer - STO1	70
Obr. 8.33: Hodnoty relativních deformací - ST01a	73
Obr. 8.34: Hodnoty relativních deformací - ST01b	73
Obr. 8.35: Umístění posuzovaného prvku v modelu Scia Engineer - VRCH1	74
Obr. 8.36: Umístění posuzovaného prvku na modelu ve Scia Engineer – VZK1	75
Obr. 8.37: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer – SCH1	75
Obr. 9.1: Detail připojení průvlaku na sloup	80
Obr. 9.2: Detail připojení stropnice na sloup	83
Obr. 9.3: Detail přípoje průvlaků ve středu vyhlídky	86
Obr. 9.4: Rozdělení sil na nosníku	86
Obr. 9.5: Detail přípoje stropnice na průvlak	90
Obr. 9.6: Detail přípoje sloupu a podpěry schodiště	93
Obr. 9.7: Detail přípoje rozpěry a táhla ke sloupu	99
Obr. 9.8: Detail přípoje schodnice na podpěru	101
Obr. 9.9: Hodnoty vnitřních sil ze Scia Engineer -Patka sloupu	104
Obr. 9.10: Detail patky sloupu	104
Obr. 9.11: Detail přípoje skořepiny na sloup	106
Obr. 9.12: Detail přípoje skořepiny ke stožáru	109
Obr. 9.13: Detail spoje skořepiny	112
Obr. 9.14: Detail montážního spoje sloupu	112
Obr. 9.15: Detail přípoje průvlaku k vnitřnímu sloupu	115
Obr. 10.1: Kotvení patky sloupu	118
Obr. 11.1: Postup montáže první části schodiště	121
Obr. 11.2: Montáž druhé části schodiště	122
Obr. 11.3: Montáž třetí části schodiště a vyhlídky	123
Obr. 11.4: Montáž zastřešení a stožáru	124

15. Seznam tabulek

Tabulka 6.1: Majetkové vztahy	24
Tabulka 8.1: Hodnoty tlaků větru na příhradovou konstrukci.....	36
Tabulka 8.2: Hodnoty tlaků větru na prosklení	36
Tabulka 8.3: Hodnoty tlaků větrem na střechu.....	38
Tabulka 8.4: Výpočetní model konstrukce v programu SCIA Engineer.....	42
Tabulka 8.5: Posudek nosníku vyhlídky.....	49
Tabulka 8.6: Shrnutí všech navržených profilů.....	79

16. Seznam výkresů

ČÍSLO VÝKRESU	NÁZEV VÝKRESU	MĚŘÍTKO
1	SITUACE	1:300
2	PŮDORYS VE VÝŠCE +7,98 m	1:50
3	PŮDORYS VE VÝŠCE +40,0 m	1:50
4	PŮDORYS VE VÝŠCE +48,2 m	1:50
5	ŘEZ A-A', POHLED 1-1,2-2,3-3	1:100
6	DETAILY	1:10
7	PODROBNÝ VÝKRES TYPICKÉHO SCHODIŠTĚ	1:10

17. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Výstupy z programu Scia Engineer str. (126 – 130)

Počet stran: 4

Příloha č. 2 – Výkaz materiálu typického schodiště str. (126 – 130)

Počet stran: 1